

## АНТРОПОЛОГИЯ

# БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ДРЕВНИХ СКОТОВОДОВ ЛЕСОСТЕПНОГО АЛТАЯ<sup>1</sup>

С.С. Тур

*Для изучения характера физических нагрузок у скотоводов лесостепного Алтая эпохи бронзы и раннего железного века на основе биомеханического подхода были исследованы две антропологические выборки (андроновской культуры эпохи развитой бронзы и староалейской культуры скифского времени). Исследование показало, что население лесостепного Алтая эпохи бронзы и скифского времени существенно различалось по продольным размерам скелета, а также уровню их полового диморфизма. Для мужчин-скотоводов были характерны очень высокие мануальные нагрузки, сочетавшиеся с умеренно высоким уровнем мобильности. Андроновские женщины существенно уступали мужчинам только по уровню мобильности. У женщин староалейской культуры физические нагрузки были относительно низкими. Диапазон межгрупповой изменчивости уровня полового диморфизма физических нагрузок у алтайских скотоводов больше, чем у охотников-собирателей. Уровни полового диморфизма физических нагрузок и продольных размеров длинных костей конечностей в исследованных выборках имеют обратное соотношение. Предполагается, что тяжелые физические нагрузки могли оказывать негативное влияние на длину тела у андроновских женщин и староалейских мужчин.*

**Биомеханика, физические нагрузки, скотоводы, эпоха бронзы, скифское время, лесостепной Алтай.**

### Введение

Под влиянием механических нагрузок в кортикальном слое диафиза трубчатых костей происходят структурные изменения, которые отражают величину и направление этих воздействий. Наличие взаимосвязи между структурой кости и ее механической функцией широко используется для реконструкции физической активности в ископаемых популяциях [Bridges, 1989, 1995; Bridges et al., 2000; Holt, 2003; Larsen, 1997, p. 195–225; Marchi, 2008; Marchi et al., 2006, 2011; Nikita et al., 2011; Ogilvie, Hilton, 2011; Rhodes, Knusel, 2005; Ruff, 2000; 2008, p. 184; Ruff, Hayes, 1983; Sladek et al., 2007; Sparacello, Marchi, 2008; Sparacello et al., 2011; Stock, 2006; Stock, Pfeiffer, 2001, 2004; Stock et al., 2011; Weiss, 2009]. Однако большинство таких исследований, за редким исключением [Lieverse et al., 2011; Stock et al., 2010], были выполнены на материалах, происходящих с зарубежных территорий.

В результате структурной адаптации кость при повышении привычного уровня физических нагрузок становится прочнее. Прочность кости оценивается на основе теории сопротивления материалов. Механической моделью трубчатых костей является полый стержень, прочность которого зависит от размеров и формы его поперечного сечения. Наибольшее значение для костей конечностей имеют такие нагрузки, как изгиб и кручение, мерой которых служат моменты площади и сопротивления сечения. При изгибе (кручении) напряжение в поперечном сечении кости нарастает в направлении от внутренних волокон к внешним. Моменты площади характеризуют общую внутреннюю устойчивость структуры к механическим нагрузкам (rigidity), моменты сопротивления сечения — максимальный стресс, возникающий во внешнем слое диафиза (strength) [Ruff, Hayes, 1983, p. 359].

Анализ геометрических свойств поперечных сечений диафиза длинных костей верхних конечностей позволяет оценить величину и направление мануальных нагрузок, возникающих в процессе привычной физической деятельности. Нагрузки на кости нижних конечностей, особенно в сагиттальном направлении, в значительной мере связаны с уровнем локомоторной активности (мобильности), включающей ходьбу и бег.

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ (№ 11-06-00360-а) и РГНФ (№ 12-01-00159).

Основные методические сложности точной оценки механических свойств трубчатых костей конечностей обусловлены тем, что форма наружного, периостального, контура диафиза не является геометрически правильной, а размеры внутреннего, эндостального, контура недоступны для непосредственного измерения. Для расчета геометрических свойств поперечного сечения костного диафиза существует несколько методических приемов, каждый из которых имеет преимущества и недостатки. Наиболее точные результаты и широкие возможности их функциональной интерпретации дают секционирование, компьютерная томография и двухплоскостная рентгенография в сочетании с силиконовым слепком внешнего контура («Latex cast method»). Все данные, полученные этими способами, непосредственно сопоставимы между собой [Neill, Ruff, 2004; Stock, 2002]. Однако секционирование из-за своей деструктивной природы применяется крайне редко, компьютерная томография и рентгенография не всегда доступны, а изготовление и оцифровка слепков поперечных сечений диафиза достаточно трудоемкая процедура. Поэтому для оценки геометрических свойств поперечного сечения диафиза нередко используются и другие, в той или иной степени менее точные, но более простые методы [Lieverse et al., 2011; Neill, Ruff, 2004; Sparacello, Pearson, 2010; Stock, 2002; Stock, Shaw, 2007; Weiss, 2009]. Самый простой вариант, когда прочность диафиза оценивается только на основе его внешних диаметров, сохраняет свое значение при изучении очень многочисленных материалов, для выработки рабочих гипотез на начальном этапе исследования, а также при невозможности применения других, более совершенных методов [Auerbach, 2007; Cole, 1994; Pearson, 2000; Stock et al., 2010; Wescott, 2001, 2006, 2008].

Цель данной работы — изучить на основе биомеханического подхода физические нагрузки у населения лесостепного Алтая эпохи бронзы и раннего железного века.

#### Материал и методы

Были исследованы костные останки 61 индивида (36 мужчин, 25 женщин) андроновской культуры эпохи развитой бронзы и 48 индивидов (22 мужчин, 26 женщин) староалейской культуры скифского времени лесостепного Алтая. Хозяйственной основой обеих групп являлось скотоводство.

Пол индивидов определялся стандартными методами на основе морфологических особенностей черепа и таза. Измерялись длинные кости конечностей без деформации и явной патологии, с полностью приросшими эпифизами. Продольные размеры костей оценивались в соответствии с рубрикацией Д.В. Пежемского [2011, с. 17], для характеристики общих размеров тела использовался условный показатель величины скелета (УПВС 1), равный сумме наибольших длин плечевой, лучевой, бедренной костей и полной длины большой берцовой [Там же, с. 19].

Так как проксимальные сегменты конечностей по сравнению с дистальными более адекватно отражают различия в величине механических нагрузок [Stock, 2006; Shaw, Stock, 2009, p. 171], для анализа прочности были выбраны плечевые и бедренные кости.

Прочность диафиза на изгиб оценивалась на основе наружных диаметров середины диафиза, исходя из того, что величина момента сопротивления сечения (section modulus  $Z$ ) прямо пропорциональна ширине диафиза в третьей степени (диаметр<sup>3</sup>  $\propto Z$ ). Поскольку механические нагрузки на длинные кости конечностей зависят не только от физической активности, но также от размеров и формы тела, геометрические параметры поперечного сечения диафиза шкалировались по длине костей и массе (весу) тела [Ruff, 2000; Stock, Shaw, 2007, p. 421].

Для расчета прочности использовалась формула

$$\frac{D^3}{L \times BM} \times 1000,$$

где  $D$  — диаметр поперечного сечения середины диафиза в мм (сагиттальный —  $ap$ , медиолатеральный —  $ml$ , средний),  $L$  — наибольшая длина кости,  $BM$  — масса тела в кг, вычисленная по ширине головки бедренной кости. Данные для парных костей правой и левой стороны усреднялись.

Масса тела населения андроновской культуры, имеющего европеоидное происхождение, вычислялась по новым формулам Раффа [Ruff et al., 2012]. Эти формулы для вычисления веса по ширине головки бедренной кости были разработаны на основе скелетных серий с территории Европы, которые охватывают значительную часть континента и период от мезолита до XX в. При этом рост референтной группы восстанавливался анатомически, вес — морфометрически,

## Биомеханический подход к изучению физической активности древних скотоводов...

исходя из роста и наибольшей ширины таза. Для староалейского населения, имеющего, по всей видимости, смешанное европеоидно-монголоидное происхождение, вес тела вычислялся по трем разным формулам [Ruff et al., 1991; McHenry, 1992; Grine et al., 1995], результаты которых в соответствии с рекомендациями усреднялись [Auerbach, Ruff, 2004, p. 340].

Коэффициенты полового диморфизма вычислялись по формуле

$$\frac{m - f}{0,5(m + f)} \times 100,$$

где  $m$  — мужские размеры,  $f$  — женские.

Для статистической обработки данных использовался однофакторный дисперсионный анализ (STATISTICA 10). При проверке нормальности распределения критерием Лиллиефорса и равенства дисперсий критерием Левена серьезных противопоказаний для применения параметрических методов не обнаружено.

В качестве масштаба межгрупповой вариабельности анализируемых признаков использовались данные по группам америндов с различными хозяйственными стратегиями: охотников-собирателей (неспециализированных, охотников-собирателей и пресноводных рыболовов, морских охотников-рыболовов и собирателей); земледельцев, а также групп, в хозяйстве которых охота и собирательство сочетались с примитивным или интенсивным земледелием [Auerbach, 2007].

### Результаты и обсуждение

Как показывают остеометрические данные (табл. 1), население лесостепного Алтая эпохи бронзы и скифского времени существенно различалось по общим размерам тела. У мужчин в андроновской группе продольные размеры длинных костей конечностей большие, величина УПВС близка к очень большой, в староалейской группе кости рук средней длины, кости ног — малой, УПВС ниже среднего. Средний уровень полового диморфизма продольных размеров длинных костей конечностей ( $H1$ ,  $R1$ ,  $F2$ ,  $T1$ ) составляет у андроновцев 10,5 %, у староалейцев — 6,4 %. Мужчины из андроновской и староалейской выборки различаются по длиннотным параметрам больше, чем женщины (8,2 против 4,1 %). Межгрупповые различия по уровню полового диморфизма продольных размеров скелета могут быть обусловлены как генетическими, так и средовыми факторами. Мужской пол более чувствителен к негативному воздействию среды [Stini, 1969, 1972, 1975; Stinson, 1985], однако ухудшение природно-климатических и социально-экономических условий не всегда приводит к снижению уровня полового диморфизма продольных размеров. Это объясняется тем, что замедление скорости роста у мужчин, вызванное негативными факторами, в некоторых случаях может компенсироваться удлинением ростового периода [Stini, 1972, 1975]. У женщин отрицательное влияние на продольные размеры скелета могут оказывать ранние роды (< 15 лет) [Vercellotti, Piperata, 2012] и, возможно, тяжелые физические нагрузки [Larsen, 1984].

Данные, характеризующие прочность плечевых и бедренных костей в исследованных алтайских выборках, приводятся в табл. 2 и на рис. 1.

Результаты дисперсионного анализа показывают, что влияние фактора «КУЛЬТУРА» на прочность костей было существенным для женского населения ( $F[7, 34] = 6,177$ ,  $p = 0,000$ ) и несущественным для мужского ( $F[7, 26] = 0,988$ ,  $p = 0,461$ ). Мужчины андроновской и староалейской культуры не обнаруживают значимых различий ни по одному из исследованных показателей. У андроновских женщин по сравнению со староалейскими кости были значительно более прочными, и только в медиолатеральном направлении бедренной кости ( $F ml$ ) разница между ними не достигала статистически значимого уровня ( $P = 0,184$ ). Однако медиолатеральный диаметр бедренных костей больше зависит от поперечных размеров тела (ширины таза), чем от локомоторной активности (ходьбы, бега).

Мужчины в целом имели более прочные кости, чем женщины, хотя в андроновской выборке влияние фактора «ПОЛ» проявлялось слабее ( $F[7, 28] = 3,005$ ,  $p = 0,017$ ), чем в староалейской ( $F[7, 32] = 8,601$ ,  $p = 0,000$ ). Это объясняется тем, что у андроновцев, в отличие от староалейцев, значимые половые различия обнаруживают только бедренные кости. По прочности плечевых костей андроновские женщины не уступают мужчинам. Коэффициенты полового диморфизма в староалейской группе по всем показателям значительно выше, особенно для плечевых костей

С.С. Тур

(табл. 2). Следует отметить также, что в обеих группах уровень половых различий по прочности бедренной кости больше в сагиттальном, чем в медиолатеральном, направлении ( $F m$ ).

Таблица 1

**Средние размеры длинных костей конечностей**

|  |   | Андроновская культура |       |         |       | Староалейская культура |       |         |       |
|--|---|-----------------------|-------|---------|-------|------------------------|-------|---------|-------|
|  |   | Мужчины               |       | Женщины |       | Мужчины                |       | Женщины |       |
|  |   | Правая                | Левая | Правая  | Левая | Правая                 | Левая | Правая  | Левая |
| <b>Плечевая кость — Humerus</b>                |   |                       |       |         |       |                        |       |         |       |
| 1. Наибольшая длина                            | M | 342,4                 | 341,0 | 306,9   | 305,9 | 318,5                  | 315,4 | 300,2   | 295,4 |
|  | S | 10,03                 | 8,93  | 13,63   | 12,46 | 14,76                  | 14,03 | 14,92   | 13,92 |
|  | N | 21                    | 20    | 20      | 19    | 16                     | 17    | 22      | 20    |
| 6b. Ширина середины диафиза (m)                | M | 23,39                 | 23,73 | 20,68   | 21,15 | 22,76                  | 22,97 | 19,34   | 19,01 |
|  | S | 1,46                  | 1,60  | 1,27    | 1,38  | 1,41                   | 1,87  | 2,03    | 1,74  |
|  | N | 23                    | 20    | 20      | 20    | 16                     | 18    | 22      | 20    |
| 6с. Сагиттальный диаметр середины диафиза (ap) | M | 22,77                 | 22,56 | 20,97   | 20,07 | 22,19                  | 21,54 | 17,95   | 17,36 |
|  | S | 1,36                  | 1,41  | 1,50    | 1,02  | 1,92                   | 2,16  | 1,83    | 1,86  |
|  | N | 23                    | 20    | 21      | 20    | 16                     | 18    | 22      | 19    |
| <b>Лучевая кость — Radius</b>                  |   |                       |       |         |       |                        |       |         |       |
| 1. Наибольшая длина                            | M | 262,3                 | 258,6 | 229,1   | 233,5 | 241,1                  | 240,7 | 224,7   | 221,9 |
|  | S | 9,73                  | 11,04 | 12,010  | 8,35  | 11,39                  | 11,30 | 10,33   | 10,08 |
|  | N | 14                    | 18    | 13      | 15    | 13                     | 17    | 21      | 19    |
| <b>Локтевая кость — Ulna</b>                   |   |                       |       |         |       |                        |       |         |       |
| 1. Наибольшая длина                            | M | 280,4                 | 282,9 | 250,6   | 254,4 | 264,2                  | 259,5 | 244,6   | 242,1 |
|  | S | 11,69                 | 13,52 | 10,54   | 8,45  | 10,05                  | 10,77 | 11,02   | 10,59 |
|  | N | 14                    | 20    | 15      | 10    | 17                     | 14    | 20      | 17    |
| <b>Бедренная кость — Femur</b>                 |   |                       |       |         |       |                        |       |         |       |
| 1. Наибольшая длина                            | M | 463,9                 | 462,5 | 423,8   | 425,3 | 427,5                  | 425,0 | 402,5   | 404,0 |
|  | S | 17,39                 | 16,43 | 14,87   | 16,50 | 21,85                  | 23,81 | 17,39   | 18,39 |
|  | N | 24                    | 22    | 22      | 22    | 20                     | 16    | 24      | 21    |
| 6. Сагиттальный диаметр середины диафиза (ap)  | M | 29,55                 | 29,25 | 25,73   | 25,78 | 28,77                  | 27,84 | 23,42   | 23,38 |
|  | S | 2,02                  | 2,10  | 1,73    | 1,97  | 2,19                   | 2,00  | 1,73    | 2,08  |
|  | N | 25                    | 25    | 20      | 22    | 20                     | 15    | 24      | 23    |
| 7а. Ширина середины диафиза (m)                | M | 29,19                 | 29,52 | 26,01   | 26,70 | 28,11                  | 28,31 | 24,68   | 25,38 |
|  | S | 1,72                  | 1,89  | 1,47    | 1,50  | 1,81                   | 1,65  | 1,42    | 1,74  |
|  | N | 25                    | 24    | 22      | 21    | 20                     | 16    | 24      | 23    |
| 18. Вертикальный диаметр головки               | M | 49,81                 | 49,14 | 44,81   | 44,47 | 46,94                  | 46,79 | 42,48   | 42,30 |
|  | S | 1,97                  | 1,95  | 2,14    | 2,12  | 2,49                   | 2,37  | 2,57    | 2,89  |
|  | N | 20                    | 16    | 20      | 15    | 18                     | 15    | 21      | 16    |
| 19. Сагиттальный диаметр головки               | M | 49,48                 | 49,23 | 44,30   | 44,20 | 46,86                  | 46,43 | 42,17   | 41,96 |
|  | S | 2,22                  | 1,98  | 1,55    | 2,00  | 2,43                   | 2,34  | 2,54    | 2,23  |
|  | N | 18                    | 19    | 17      | 17    | 16                     | 15    | 22      | 19    |
| <b>Большая берцовая кость — Tibia</b>          |   |                       |       |         |       |                        |       |         |       |
| 1. Полная длина                                | M | 381,1                 | 378,6 | 345,9   | 342,9 | 344,8                  | 348,6 | 327,3   | 327,2 |
|  | S | 18,90                 | 16,47 | 14,40   | 12,93 | 18,17                  | 16,52 | 14,81   | 15,15 |
|  | N | 22                    | 21    | 19      | 20    | 19                     | 18    | 24      | 23    |

**Примечание:** M — среднее значение, S — стандартное отклонение, N — число наблюдений.

По имеющимся данным прочность плечевых и бедренных костей четкой связи с основными хозяйственными укладами не обнаруживает [Auerbach, 2007, p. 378–386]. Наиболее высокая прочность плечевых костей характерна для морских охотников-собирателей, которые существенно превосходят по этому признаку все остальные группы, включая неспециализированных охотников-собирателей, охотников-собирателей-пресноводных рыболовов, земледельцев, а также группы с комплексным хозяйством [Ibid., p. 379]. Население андроновской культуры, а также мужчины староалейской по прочности плечевых костей (как в абсолютном измерении, так и относительно бедренных) попадают в диапазон изменчивости морских охотников-собирателей, причем андроновские женщины приближаются к его верхнему пределу. Староалейские женщины на межгрупповой шкале варибельности по этому признаку занимают относительно низкое положение.

Прочность бедренных костей у андроновского населения и староалейских мужчин в межгрупповом масштабе оценивается как умеренно высокая, у староалейских женщин — как низкая.

Биомеханический подход к изучению физической активности древних скотоводов...

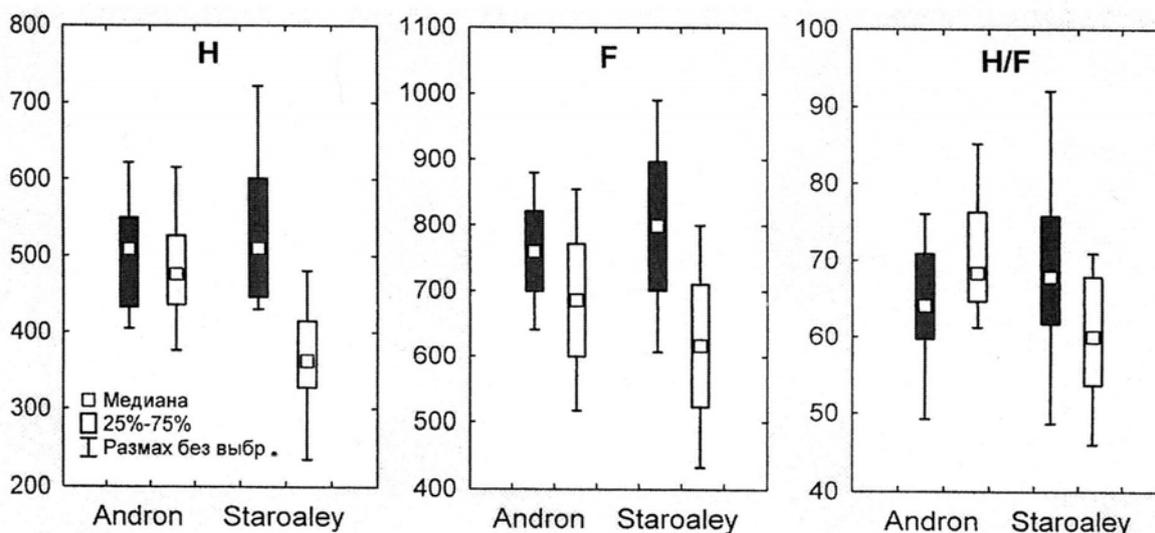


Рис. 1. Диаграммы размаха прочности плечевых (H) и бедренных (F) костей в выборках андроновской (Andron) и староалейской (Staroalei) культур. Черный цвет — мужчины, белый — женщины

Таблица 2

Прочность плечевых и бедренных костей

| Признак         |   |          | Андроновская культура |              |              | Староалейская культура |              |              |
|-----------------|---|----------|-----------------------|--------------|--------------|------------------------|--------------|--------------|
|                 |   |          | Мужчины               | Женщины      | <i>k</i> (%) | Мужчины                | Женщины      | <i>k</i> (%) |
| Плечевая кость  | Сагиттальный диаметр середины диафиза — <i>H ar</i>     | <i>M</i> | 476,1                 | <b>473,7</b> | 0,5          | 495,9                  | <b>328,7</b> | 40,6***      |
|                 |   | <i>S</i> | 77,7                  | 77,5         |              | 97,7                   | 81,6         |              |
|                 |   | <i>N</i> | (20)                  | (20)         |              | (18)                   | (23)         |              |
| Плечевая кость  | Медиолатеральный диаметр середины диафиза — <i>H ml</i> | <i>M</i> | 535,5                 | <b>497,5</b> | 7,4          | 568,8                  | <b>428,6</b> | 28,1***      |
|                 |   | <i>S</i> | 82,5                  | 84,7         |              | 110,3                  | 112,3        |              |
|                 |   | <i>N</i> | (19)                  | (20)         |              | (18)                   | (23)         |              |
| Плечевая кость  | Средний диаметр середины диафиза — <i>H</i>             | <i>M</i> | 501,3                 | <b>483,8</b> | 3,6          | 530,1                  | <b>373,9</b> | 34,6***      |
|                 |   | <i>S</i> | 68,3                  | 61,3         |              | 93,2                   | 77,6         |              |
|                 |   | <i>N</i> | (19)                  | (20)         |              | (18)                   | (23)         |              |
| Бедренная кость | Сагиттальный диаметр середины диафиза — <i>F ar</i>     | <i>M</i> | 777,8                 | <b>664,7</b> | 15,7**       | 821,6                  | <b>558,2</b> | 38,2***      |
|                 |   | <i>S</i> | 131,0                 | 112,2        |              | 144,9                  | 107,4        |              |
|                 |   | <i>N</i> | (24)                  | (22)         |              | (18)                   | (24)         |              |
| Бедренная кость | Медиолатеральный диаметр середины диафиза — <i>F ml</i> | <i>M</i> | 750,9                 | 711,4        | 5,4          | 780,9                  | 682,7        | 13,4*        |
|                 |   | <i>S</i> | 94,0                  | 102,7        |              | 100,3                  | 114,0        |              |
|                 |   | <i>N</i> | (24)                  | (23)         |              | (18)                   | (24)         |              |
| Бедренная кость | Средний диаметр середины диафиза — <i>F</i>             | <i>M</i> | 760,4                 | <b>685,9</b> | 10,3***      | 798,6                  | <b>616,4</b> | 25,8***      |
|                 |   | <i>S</i> | 60,9                  | 86,1         |              | 97,9                   | 93,5         |              |
|                 |   | <i>N</i> | (24)                  | (22)         |              | (18)                   | (24)         |              |
| <i>H/F</i> (%)  |   | <i>M</i> | 64,4                  | <b>70,2</b>  | -8,6*        | 68,0                   | <b>60,3</b>  | 12,0*        |
|                 |   | <i>S</i> | 7,8                   | 7,1          |              | 11,9                   | 7,8          |              |
|                 |   | <i>N</i> | (17)                  | (19)         |              | (17)                   | (23)         |              |

Примечания: *k* — коэффициент полового диморфизма; *M* — среднее значение, *S* — стандартное отклонение, *N* — число наблюдений; курсивом выделены половые различия в пределах одной культуры, достоверные на уровне: \* —  $p < 0,05$ , \*\* —  $p < 0,01$ , \*\*\* —  $p < 0,00$ ; жирным шрифтом выделены достоверные различия между культурами в пределах одного пола.

Для охотников-собирателей в целом характерны высокие половые различия по прочности плечевых костей, однако если у неспециализированных охотников-собирателей наибольшие различия отмечаются в сагиттальном направлении, то у охотников-рыболовов-собирателей — в медиолатеральном (очевидно, за счет более сильного развития дельтовидных мышц у мужчин). Для неспециализированных охотников-собирателей в отличие от всех остальных групп характерны также высокие половые различия по прочности бедренных костей, причем как в сагиттальном, так и в медиолатеральном направлении. В группах с комплексным хозяйством уро-

вень половых различий по прочности плечевых костей ниже, чем у охотников-собирателей, но выше, чем у земледельцев [Auerbach, 2007, p. 387].

Андроновцы по уровню половых различий показателей прочности плечевых и бедренных костей сближаются с группами, имеющими комплексное хозяйство. У староалейского населения половые различия по прочности бедренных и особенно плечевых костей в межгрупповом масштабе являются беспрецедентно высокими. Таким образом, уровень половых различий в физических нагрузках среди алтайских скотоводов варьируется больше, чем среди охотников-собирателей, что согласуется с общими представлениями об увеличении диапазона изменчивости этого показателя при переходе от присваивающего хозяйства к производящему [Panter-Brick, 2002, p. 637].

В андроновской выборке низкий половой диморфизм физических нагрузок сочетается с высоким половым диморфизмом продольных размеров длинных костей конечностей, в староалейской — наоборот. Как уже отмечалось, ростовые процессы у мужчин больше, чем у женщин, зависят от питания. Интенсивное образование зубного камня и отсутствие кариеса характеризуют диету скотоводов Алтая эпохи бронзы как преимущественно белковую. Однако в скифское время в ней происходят существенные изменения — увеличивается доля углеводов, особенно у женщин [Тур, Рыкун, 2011]. Можно предположить, что некоторое сокращение в питании белкового компонента у староалейских мужчин в сочетании с очень тяжелыми физическими нагрузками приводило к энергетическому дисбалансу и редукции размеров тела.

Тяжелые мануальные нагрузки андроновских женщин, приближающиеся по величине к межгрупповому женскому максимуму, также могли вызывать физиологический стресс. Тяжелый труд, даже при положительном энергетическом балансе, может оказывать негативное воздействие не только на ростовые процессы у женщин, но и на их репродуктивные функции, особенно при сокращении интервалов между родами. С учетом высокой частоты преждевременных родов и младенческой смертности в андроновском обществе этот фактор заслуживает особого внимания.

### Заключение

Таким образом, в результате анализа прочности (strength) длинных костей конечностей у алтайских скотоводов эпохи бронзы и раннего железа установлено, что для мужчин были характерны очень высокие мануальные нагрузки, сочетавшиеся с умеренно высоким уровнем мобильности. Андроновские женщины существенно уступали мужчинам только по уровню мобильности. У женщин староалейской культуры физические нагрузки были относительно низкими. Уровни полового диморфизма физических нагрузок и продольных размеров длинных костей конечностей в исследованных выборках имеют обратное соотношение.

Метод оценки прочности длинных костей конечностей на основе внешних диаметров диафиза, который использовался в данной работе, не точен и позволяет лишь в грубом приближении выявлять основные тенденции межгрупповой и половой изменчивости этих признаков. Поэтому выводы данного исследования представляют собой рабочие гипотезы, нуждающиеся в проверке более точными методами и на более обширных материалах.

---

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

---

- Пежемский Д.В. Изменчивость продольных размеров трубчатых костей человека и возможности реконструкции телосложения: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2011. 24 с.
- Тур С.С., Рыкун М.П. Заболеваемость зубным кариесом среди населения Алтая скифского времени // Экология древних и традиционных обществ. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2011. Вып. 4. С. 341–344.
- Auerbach B. Human skeletal variation in the New World during the Holocene: Effects of climate and subsistence across geography and time: Unpublished PhD Thesis. Johns Hopkins Univ., 2007. 1076 p.
- Auerbach B.M., Ruff C.B. Human body mass estimation: A comparison of «morphometric» and «mechanical» methods // Am. J. Phys. Anthropol. 2004. Vol. 125. P. 331–342.
- Bridges P.S. Changes in activities with the shift to agriculture in the Southeastern United States // Curr. Anthropol. 1989. Vol. 30. P. 385–394.
- Bridges P.S. Skeletal biology and behavior in ancient humans // Evol. Anthropol. 1995. Vol. 4. P. 112–120.
- Bridges P.S., Blitz J.H., Solano M.C. Changes in long bone diaphyseal strength with horticultural intensification in westcentral Illinois // Am. J. Phys. Anthropol. 2000. Vol. 112. P. 217–238.

## Биомеханический подход к изучению физической активности древних скотоводов...

- Cole T.M.* Size and shape of the femur and tibia in Northern Plains Indians // *Skeletal biology in the Great Plains: Migration, warfare, health, and subsistence* / Ed. Owsley D.W., Jantz R.L. Washington, DC: Smithsonian Inst. Press, 1994. P. 219–233.
- Grine F.E., Jungers W.L., Tobias P.V., Pearson O.M.* Fossil Homo femur from Berg Aukas, northern Namibia // *Am. J. Phys. Anthropol.* 1995. Vol. 26. P. 67–78.
- Holt B.M.* Mobility in upper Paleolithic and Mesolithic Europe: Evidence from the lower limb // *Am. J. Phys. Anthropol.* 2003. Vol. 122. P. 200–215.
- Larsen C.S.* Health and disease in prehistoric Georgia: The transition to agriculture // *Paleopathology at the origins of agriculture* / Ed. Cohen M.N., Armelagos G.J. L.: Orlando, 1984. P. 367–392.
- Larsen C.S.* *Bioarchaeology: Interpreting behavior from the human skeleton.* Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1997. 469 p.
- Lieverse A.R., Stock J., Katzenberg M.A., Haverkort C.M.* The Bioarchaeology of habitual activity and dietary change in the Siberian Middle Holocene // *Human Bioarchaeology of the Transition to Agriculture* / Ed. Pinhasi R., Stock J.T. Chichester: Wiley-Blackwell, 2011. P. 265–291.
- Marchi D.* Relationships between lower limb cross-sectional geometry and mobility: The case of a Neolithic sample from Italy // *Am. J. Phys. Anthropol.* 2008. Vol. 137. P. 188–200.
- Marchi D., Sparacello V.S., Hol B.M., Formicola V.* Biomechanical approach to the reconstruction of activity patterns in Neolithic Western Liguria, Italy // *Am. J. Phys. Anthropol.* 2006. Vol. 131. P. 447–455.
- Marchi D., Sparacello V., Shaw C.* Mobility and lower limb robusticity of a pastoralist neolithic population from North-Western Italy // *Human bioarchaeology of the transition to agriculture* / Ed. Pinhasi R., Stock J.T. Chichester: Wiley-Blackwell, 2011. P. 317–346.
- McHenry H.M.* Body size and proportions in early Hominids // *Am. J. Phys. Anthropol.* 1992. Vol. 87. P. 407–431.
- Neill M.C., Ruff C.B.* Estimating human long bone cross-sectional geometric properties: A comparison of noninvasive methods // *J. Hum. Evol.* 2004. Vol. 47. P. 221–235.
- Nikita E., Siew Y.Y., Stock J., Mattingly D., Lahr M.M.* Activity patterns in the Sahara desert: An interpretation based on cross-sectional geometric properties // *Am. J. Phys. Anthropol.* 2011. Vol. 146. P. 422–434.
- Ogilvie M.D., Hilton C.E.* Cross-sectional geometry in the humeri of foragers and farmers from the prehispanic American Southwest: Exploring patterns in the sexual division of labor // *Am. J. Phys. Anthropol.* 2011. Vol. 144. P. 11–21.
- Panther-Brick C.* Sexual division of labor: Energetic and evolutionary scenarios // *Am. J. Hum. Biol.* 2002. Vol. 14. P. 627–640.
- Pearson O.M.* Activity, climate, and postcranial robusticity: Implications for modern human origins and scenarios of adaptive change // *Curr. Anthropol.* 2000. Vol. 41. P. 569–607.
- Rhodes J.A., Knusel C.J.* Activity-related skeletal change in medieval humeri: Cross-sectional and architectural alterations // *Am. J. Phys. Anthropol.* 2005. Vol. 128. P. 536–546.
- Ruff C.B.* Body size, body shape, and long bone strength in modern humans // *J. Hum. Evol.* 2000. Vol. 38. P. 269–290.
- Ruff C.B.* *Biomechanical analyses of archaeological human skeletons* // *Biological anthropology of the human skeleton* / Ed. Katzenberg M.A., Saunders S.R. N. Y.: Wiley-Liss, 2008. Second edition. P. 183–206.
- Ruff C.B., Hayes W.C.* Cross-sectional geometry of Pecos Pueblo femora and tibiae — a biomechanical investigation: 1. Method and general patterns of variation // *Am. J. Phys. Anthropol.* 1983. Vol. 60. P. 359–381.
- Ruff C.B., Holt B.M., Niskanen M. et al.* Stature and body mass estimation from skeletal remains in the European Holocene // *Am. J. Phys. Anthropol.* 2012. Vol. 148. P. 601–617.
- Ruff C.B., Scott W.W., Liu A.Y.-C.* Articular and diaphyseal remodeling of the proximal femur with changes in body mass in adults // *Am. J. Phys. Anthropol.* 1991. Vol. 86. P. 397–413.
- Shaw C.N., Stock J.T.* Habitual throwing and swimming correspond with upper limb diaphyseal strength and shape in modern human athletes // *Am. J. Phys. Anthropol.* 2009. Vol. 140. P. 160–172.
- Sládek V., Berner M., Sosna D., Sailer R.* Human manipulative behavior in the Central European Late Eneolithic and Early Bronze Age: Numeral bilateral asymmetry // *Am. J. Phys. Anthropol.* 2007. Vol. 133. P. 669–681.
- Sparacello V., Marchi D.* Mobility and subsistence economy: a diachronic comparison between two groups settled in the same geographic area (Liguria, Italy) // *Am. J. Phys. Anthropol.* 2008. Vol. 136. P. 485–495.
- Sparacello V.S., Pearson O.M.* The importance of accounting for the area of the medullary cavity in cross-sectional geometry: A test based on the femoral midshaft // *Am. J. Phys. Anthropol.* 2010. Vol. 143. P. 612–624.
- Sparacello V., Pearson O.M., Coppa A., Marchi D.* Changes in skeletal robusticity in an Iron Age agropastoral group: The Samnites from the Alfedena necropolis (Abruzzo, Central Italy) // *Am. J. Phys. Anthropol.* 2011. Vol. 144. P. 119–130.
- Stini W.A.* Nutritional stress and growth: Sex difference in adaptive response // *Am. J. Phys. Anthropol.* 1969. Vol. 31. P. 417–426.
- Stini W.A.* Malnutrition, body size and proportion // *Ecol. Food Nutr.* 1972. Vol. 1. P. 121–126.
- Stini W.A.* Adaptive strategies of populations under nutritional stress // *Biosocial interactions in population adaptation* / Ed. Watt E.S., Johnston F.E., Lasker G.W. Mouton: The Hague, 1975. P. 19–39.

## C.C. Typ

*Stinson S.* Sex differences in environmental sensitivity during growth and development // Yearbk Phys. Anthropol. 1985. Vol. 28. P. 123–147.

*Stock J.T.* A test of two methods of radiographically deriving long bone cross-sectional properties compared to direct sectioning of the diaphysis // Int. J. Osteoarchaeol. 2002. Vol. 12. P. 335–342.

*Stock J.T.* Hunter-gatherer postcranial robusticity relative to patterns of mobility, climatic adaptation, and selection for tissue economy // Am. J. Phys. Anthropol. 2006. Vol. 131. P. 194–204.

*Stock J.T., Bazaliiskii V.I., Goriunova O.I., Savel'ev N.A., Weber A.W.* Skeletal morphology, climatic adaptation and habitual behavior among the Mid-Holocene populations of the Cis-Baikal // Prehistoric hunter-gatherers of the Baikal region, Siberia: Bioarchaeological studies of past life ways / Ed. Weber A.W., Katzenberg M.A., Schurr T.G. Philadelphia: Univ. of Pennsylvania Press, 2010. P. 193–216.

*Stock J.T., O'Neill M., Ruff C.B. et al.* Body size, skeletal biomechanics, mobility and habitual activity from the Late Palaeolithic to mid-Dynastic Nile Valley // Human bioarchaeology of the transition to agriculture / Ed. Pinhasi R., Stock J.T. Chichester: Wiley-Blackwell, 2011. P. 347–370.

*Stock J.T., Pfeiffer S.K.* Linking structural variability in long bone diaphyses to habitual behaviors: Foragers from the southern African Later Stone Age and the Andaman Islands // Am. J. Phys. Anthropol. 2001. Vol. 115. P. 337–348.

*Stock J.T., Pfeiffer S.K.* Long bone robusticity and subsistence behavior among Later Stone Age foragers of the forest and fynbos biomes of South Africa // J. Archaeol. Sci. 2004. Vol. 31. P. 999–1013.

*Stock J.T., Shaw C.N.* Which measures of diaphyseal robusticity are robust? A comparison of external methods of quantifying the strength of long bone diaphyses to cross-sectional geometric properties // Am. J. Phys. Anthropol. 2007. Vol. 134. P. 412–423.

*Vercellotti G., Piperata B.A.* The use of biocultural data in interpreting sex differences in body proportions among rural amazonians // Am. J. Phys. Anthropol. 2012. Vol. 147. P. 113–127.

*Weiss E.* Sex differences in humeral bilateral asymmetry in two hunter-gatherer populations: California amerinds and British Columbian amerinds // Am. J. Phys. Anthropol. 2009. Vol. 140. P. 19–24.

*Wescott D.J.* Structural variation in the humerus and femur in the American Great Plains and adjacent regions: Differences in subsistence strategy and physical terrain: Unpublished Ph.D. dissertation. Department of Anthropology, Univ. of Tennessee. Knoxville, 2001. 295 p.

*Wescott D.J.* Effect of mobility on femur midshaft external shape and robusticity // Am. J. Phys. Anthropol. 2006. Vol. 130. P. 201–213.

*Wescott D.J.* Biomechanical analysis of humeral and femoral structural variation in the Great Plains // Plains Anthropologist. 2008. Vol. 53. № 207. P. 333–355.

*Барнаул, Алтайский государственный университет  
tursvetlana@mail.ru*

*With the purpose of studying physical activity among pastoralists from the forest-and-steppe Altai of the Bronze Age and the Early Iron Age basing on biomechanical approach, subject to investigation being two anthropological samplings (of the Andronovo culture of the developed Bronze Age and the Staroalejka culture of Scythian time). The undertaken investigation showed that the population from the forest-and-steppe Altai of the Bronze Age and Scythian time considerably differed in skeleton lengthwise dimensions and a level of their sex dimorphism. Male pastoralists were notable for very high manual loadings, combining with a moderately high level of mobility. The Andronovo females substantially lagged behind males only in the level of their mobility. As to the Staroalejka females, their physical loadings were relatively low. A range of intergroup variability regarding a level of sex dimorphism of physical loadings with Altai pastoralists was bigger compared with hunter-gatherers. In the investigated samplings, levels of sex dimorphism of physical loadings and long limbs' lengthwise dimensions being of an inverse relation. It is suggested that hard biomechanical stress could negatively affect body length with the Andronovo females and the Staroalejka males.*

**Biomechanics, physical loadings, pastoralists, Bronze Age, Scythian time, forest-and-steppe Altai.**