

# ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ ТОЧНОСТЬ БРОСКА? «ВЫНУЖДЕННЫЕ ТРАЕКТОРИИ» В ДВИЖЕНИИ ПЛЕЧЕВОГО СУСТАВА

А.Н. Власенко<sup>1</sup>, С.В. Дробышевский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологий им. К.И. Скрябина, Москва

<sup>2</sup>МГУ имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, кафедра антропологии Москва

*Биомеханические возможности плечевого сустава и координационные способности мозга человекообразных приматов потенциально не исключают возможностей точного метания предметов, однако, в сравнении с человеком, эта потенция реализуется слабо. В статье рассмотрены возможные причины различий метательных способностей обезьян и человека, заключающиеся в специализации суставных поверхностей суставной впадины лопатки и головки плечевой кости современного человека и неандертальца.*

*Работа проводилась на материале коллекций кафедры анатомии и гистологии Московской государственной академии ветеринарной медицины и биотехнологий им. К.И. Скрябина, кафедры антропологии биологического факультета и Зоологического музея МГУ имени М.В.Ломоносова. Использован скелетный материал 29 видов млекопитающих. Измерялась кривизна суставных поверхностей. Выполнялось имитационное моделирование движения, соответствующего бросковому, на скелетном материале и добровольцах; траектории движения фиксировались с помощью фотосъёмки. Также анализировались видеозаписи тренировок и выступлений спортсменов-копьеметателей.*

*Форма суставной поверхности лопатки отчётливо различается у животных, адаптированных к разным способам локомоции: у наземных суставные поверхности взаимодействуют между собой при разгибании по «вынужденным траекториям», ограничивающим боковые и вращательные движения; у древесных форм степень свободы движений плечевого сустава выше; у брахиаторов поверхности идеально сферические. В плечевом суставе человека и неандертальца обнаружен уникальный специализированный вариант с подразделением суставных поверхностей на две зоны, одна из которых создаёт «вынужденную траекторию», способствующую метательным движениям и повышающую их точность. Археологические свидетельства позволяют предположить, что формирование морфофункционального метательного комплекса плечевого сустава началось уже 3,5 млн лет назад и достигло выраженного развития как минимум 600 тыс. лет назад.*

*У квадрипедальных млекопитающих неравномерная кривизна суставной поверхности головки плечевой кости и гленоида определяет наличие «вынужденной траектории» при разгибании плечевого сустава и отражает степень специализации биологического вида в совершении прямолинейных движений грудной конечности. В отличие от квадрипедальных млекопитающих, у людей специфические изменения рельефа сопряжённых поверхностей плечевого сустава, определяющие «вынужденную траекторию» сгибательно-разгибательного движения, развились не в качестве приспособления к ходьбе или бегу, а как морфоадаптация к бросанию предметов в цель. Особенно суставных поверхностей человеческих плечевой и лопаточной костей могут рассматриваться в качестве одного из родовых признаков и, в частности, использоваться в палеоантропологии как маркер для дифференцировки людей от человекообразных обезьян, адаптированных к древесной локомоции и, возможно, ранних прямоходящих гоминид.*

*Ключевые слова: морфология человека, антропология, антропогенез, плечевой сустав, лопатка, плечевая кость, метание, неандертальцы*

Грудная конечность приматов-брахиаторов при любой степени отведения плеча обладает полным набором сочетаний движений, возможных в основных суставах. Бесспорно, степень координации этих движений чрезвычайно высока, и в этом отношении нервная система брахиаторов, по крайней мере, не уступает человеческой. Однако, как известно, нормально физически развитый здоровый человек бросает предметы в цель гораздо точнее, чем человекообразные обезьяны. Попытки объяснить это преимущество более высоким качеством нервной регуляции представляются неубедительными для любого, кто хотя бы однажды наблюдал перемещение шимпанзе, орангутана или, тем более, гиббона по ветвям деревьев [Larson, 2007; Westergaard et al., 2000]. Эта предпосылка побудила нас к поиску специфических морфоадаптаций человека, способствующих выполнению броскового движения.

Особенности строения суставно-связочного аппарата согласованы со специализацией мускульного аппарата к прямолинейным или, наоборот, дугообразным движениям, а потому обнаружение очевидных приспособительных изменений в любом компоненте согласованной системы органов движения даёт логические основания для поиска соответствий им в других компонентах, а равно и предпосылки для предсказания их морфологической локализации и адекватного преобразования функций.

Форма суставных поверхностей, несомненно, является морфоадаптивным признаком, отражающим ту или иную специализацию биологического вида, его приспособленность к определённым движениям [Fischer et al., 1977]. Однако, хотя работы, посвящённые строению скелета млекопитающих, многочисленны, лишь немногие авторы касаются вопроса измерения радиуса кривизны суставных поверхностей, и только в единичных исследованиях затрагивается неравномерность кривизны головки плечевой кости и суставной впадины лопатки [Волк... 1985]. Но и в тех случаях, когда факт неравномерности и неполной конгруэнтности кривизны указанных поверхностей констатируется, трактовка данного явления с позиций биомеханики и функциональной анатомии носит крайне упрощённый характер [Matsen et al., 1991; McPherson et al., 1997; Irlenbusch et al., 2012; Roach et al., 2012]. Возможно, это связано с тем, что для облегчения задачи учитывается изменение радиуса кривизны только по двум взаимно перпендикулярным линиям, но не принимается во внимание возможность криволинейного перемещения головки по впадине (несмотря на то, что

об эксцентричности движения плечевого сустава человека известно достаточно давно).

Исходя из вышеизложенного, целью исследования мы определили изучение морфоадаптивных особенностей суставных поверхностей плечевых суставов, обусловленных специализацией двигательных актов, у различных видов млекопитающих, включая человека современной анатомии и неандертальца.

## Материалы и методы

Работа проводилась на материале коллекций кафедры анатомии и гистологии Московской государственной академии ветеринарной медицины и биотехнологий им. К.И. Скрябина (МГАВМиБ) и коллекций кафедры антропологии биологического факультета и Зоологического музея МГУ имени М.В.Ломоносова. Использован скелетный материал 20 половозрелых особей домашней собаки (*Canis lupus familiaris*), 20 волка (*Canis lupus*), 5 гиеновой собаки (*Lycaon pictus*), 5 красного волка (*Cuon alpinus*), 3 гривистого волка (*Chrysocyon brachyurus*), 5 енотовидной собаки (*Nyctereutes procyonoides*), 5 обыкновенной лисицы (*Vulpes vulpes*), 2 тигра (*Panthera tigris*), 2 льва (*Panthera leo*), 5 гепарда (*Acinonyx jubatus*), 5 снежного барса (*Uncia uncia*), 2 леопарда (*Panthera pardus*), 5 обыкновенной рыси (*Lynx lynx*), 5 россомахи (*Gulo gulo*), 3 сайги (*Saiga tatarica*), 3 джейрана (*Gazella subgutturosa*), 3 косули (*Capreolus capreolus*), 2 восточнокавказского тура (*Capra cylindricornis*), 2 снежного барана (*Ovis nivicola*), 2 кiangа (*Equus kiang*), 3 северного оленя (*Rangifer tarandus*), 2 домашней лошади (*Equus caballus*), 1 домашней свиньи (*Sus scrofa domesticus*), 2 мандрилы (*Mandrillus sphinx*), 1 гвинейского павиана (*Papio papio*), 4 шимпанзе (*Pan troglodytes*), 3 гориллы (*Gorilla gorilla*), 3 орангутана (*Pongo pygmaeus*), 7 людей современной анатомии (*Homo sapiens*) и слепок лопатки и плечевой кости 1 неандертальца (*Homo neanderthalensis*), а также кадаверный материал 10 особей волка (*Canis lupus*), 10 домашней собаки (*Canis lupus familiaris*), 2 енотовидной собаки (*Nyctereutes procyonoides*), 1 обыкновенной рыси (*Lynx lynx*), 1 макаки-резуса (*Macaca mulatta*).

Изменение радиуса кривизны суставных поверхностей оценивалось в абсолютных значениях по пластилиновым слепкам с помощью лекала (патент РФ № 2492837) и в относительных – по фотоснимкам, выполненным в различных ракурсах (с использованием динамической геометрической среды GeoGebra 4.2).

На скелетном материале выполнялось имитационное моделирование движения, соответствующего бросковому. Траектория движения в плечевом суставе при различных вариантах смыкания суставных поверхностей фиксировалась фотосъемкой в скоростном режиме и размечалась на суставной поверхности плечевой кости по смещению латерального края суставной впадины лопатки.

Выполнение броскового движения из различных положений наблюдали на 10 добровольцах, взрослых людях обоих полов (5 мужчин, 5 женщин). Кроме того, анализировались видеозаписи тренировок и выступлений 12 спортсменов-копьеметателей (6 мужчин, 6 женщин), 20 гандболистов (15 мужчин, 5 женщин), 3 бейсболистов, 3 мастеров метания ножа и учебный фильм «Техника метания копья» («Союзспортфильм», 1985). Бросковые движения шимпанзе (3 особи) изучались по видеозаписям.

## Результаты

Специализация локомоторного акта на быстром беге (преимущественно прямолинейном движении) у млекопитающих при квадрипедальной локомоции сопровождается известными морфофункциональными преобразованиями [Волк... 1985]. К таковым в строении грудной конечности относятся:

- относительное удлинение дистальных звеньев конечностей;
- проксимальное смещение центра мышечных масс;
- преимущественное развитие мышц флексорной и экстензорной групп, особенно двусуставных;
- интеграция мышц, сопровождающаяся возрастанием удельной величины действия сил упругости в развитии пропульсивного движения.

Указанные адаптации в комплексе предопределяют изменение диапазона движений конечности в зависимости от уровня специализации, приближая его к одноплоскостному, и, кроме того, увеличивается интенсивность разгибания дистально расположенных суставов по сравнению с проксимальными. Вследствие этого закономерно снижается возможность животного произвольно менять траекторию движения звеньев конечности в процессе отталкивания от опоры. Более того, из-за возросшей реакции опоры при быстром беге или прыжке выход любого сустава из биомеханической оси конечности способен причинить серьёзную

травму конечности. Указанными обстоятельствами обуславливается необходимость автоматического приведения всех основных суставов конечности к биомеханической оси к моменту завершения разгибания основных суставов конечности. На анатомическом уровне необходимый результат достигается посредством комплекса сопряжённых адаптивных механизмов:

- согласованно изменяющимися векторами действия разгибающих и ротирующих мышц;
- особенностями крепления связок, а также сухожилий, факультативно исполняющих роль связок;
- неравномерным радиусом кривизны сопряжённых суставных поверхностей, задающим «вынужденные» траектории движения в суставах.

«Вынужденные траектории» плечевого сустава достаточно просто выявляются в ходе моделирования разгибательного движения при плотном примыкании суставных поверхностей лопатки и плечевой кости друг к другу [Капанджи, 2009]. В целом, у млекопитающих исследуемой локомоторной группы диапазон возможных траекторий характеризуется более или менее значительной способностью к ротации, отведению и приведению при согнутом плечевом суставе и уменьшении этой способности по мере разгибания сустава. Данное ограничение налагается сложностью рельефа суставных поверхностей. Та часть суставной поверхности плечевой кости, по которой лопатка может скользить с полным контактом, имеет каплевидное очертание у неспециализированных в быстром беге животных и очертание в форме запятой у высокоспециализированных в беге. Латерально она примыкает к большому бугру, а медиально - возвышается, переходя в поверхность с постепенно или резко увеличивающимся радиусом кривизны (на 10–46%), а у некоторых видов поверхность имеет даже обратную кривизну (вогнутость) в направлении малого бугра. По каудальному краю радиус суставной поверхности плечевой кости либо сохраняется почти неизменным, либо значительно уменьшается (от 9 до 52%). Первому случаю соответствует лопатка с равномерной кривизной суставной поверхности, а во втором, как правило, наблюдается заметное продольное изменение радиуса, с наименьшим размером в центральной части гленоида. Второй вариант особенно показателен для демонстрации «вынужденной траектории», поскольку, при моделировании разгибания плечевого сустава, сочленяющиеся поверхности, образно говоря, «входят в колею» даже при незначительном придавливании их друг к другу. При этом лопатка, скользя по

головке плечевой кости, автоматически разворачивается своим надсуставным отростком в сторону межбугоркового желоба плечевой кости, а латеральной стороной к большому её бугру.

Диапазон ротации и абдукции плечевого сустава в позициях флексии и полной экстензии чётко соответствует видовым локомоторным характеристикам. У высокоспециализированных в быстром беге животных при полной экстензии ротация и абдукция невозможны, а при полной флексии они весьма различны. Например, у горных копытных (снежный баран, восточнокавказский тур) объём указанных движений при флексии больше, чем у равнинных копытных (сайга, джейран, домашняя лошадь), как минимум в 1,5 раза. У животных, приспособленных к маневренному бегу или лазанию, способность к ограниченной ротации сохраняется даже при полной экстензии плечевого сустава (от 26–28° – у домашней свиньи до 55–57° – у снежного барса и леопарда). Интересно то, что по форме суставных поверхностей и способности к ротации сустава волк и гиеновая собака стоят близко к гепарду, а енотовидная собака – к росомaxe. Другими словами, указанные морфологические признаки являются адаптивными к образу жизни, а не отражают степень родственных связей.

Особенно значительна вариативность в особенностях рельефа суставных поверхностей рассматриваемого сустава среди представителей парвотряда узконосых обезьян. Рельеф и, соответственно, «вынужденные траектории» движения мандрилы и гвинейского павиана близки к таковым у росомахи и других, мало специализированных в беге, квадрипедальных видов млекопитающих, что с учётом сходных локомоторных режимов данных видов (небыстрое наземное передвижение при сохранении высокой маневренности и способности лазать по деревьям) вполне закономерно. Также закономерно, что все брахиаторы, включая человекообразных обезьян, обладают равномерной кривизной суставных поверхностей, обуславливающей отсутствие «вынужденных траекторий», и это позволяет ротировать плечо при любой степени абдукции и экстензии, т. е., при висении на руке разворачивать корпус в любой плоскости.

Рельефы сопряжённых поверхностей лопатки и плечевой кости у человека современной анатомии и неандертальца настолько своеобразны, что ставят их вне вариативного ряда остальных млекопитающих, включая человекообразных обезьян. Как известно, головка человеческой плечевой кости на различных участках суставной поверхности имеет неравномерную кривизну. В частности, на фронтальном разрезе радиус кривизны постепенно уменьшается в верхне-нижнем направлении.

Но прежде всего обращает на себя внимание наличие *tuberculum glenoidale* (бугорка суставной поверхности лопатки) – небольшого костного возвышения, расположенного немного ниже центра гленоида [Vallois, 1932]. Каудально от него находится углубление, имеющее радиус кривизны, соответствующий медиальному участку суставной поверхности головки плечевой кости, а между бугорком и краем гленоида, вдоль дорсальной и краиниальной его сторон, тянется изогнутая более плоская полоса, по радиусу кривизны подходящая к проксимальному участку головки. Остальная поверхность гленоида обладает промежуточным радиусом кривизны. Биомеханическое моделирование показало, что движение в таком суставе, осуществляемое в пределах нормальных физических нагрузок (т.е. при сохранении плотного смыкания суставных поверхностей), поливариантно, а полное прилегание сразу всей поверхности гленоида к головке плечевой кости невозможно. Кроме того, во многих случаях взаимодействие суставных поверхностей осуществляется не только по типу вращения, но может сочетать с ним, в разных соотношениях, продольное скольжение и качение. Указанными выше анатомическими особенностями, а также ограничениями, определяемыми длиной и строением компонентов манжеты сустава, обуславливается наличие одновременных центров ротации (ОЦР) плечевой кости [Капанджи, 2009].

Существование двух, разделённых просветом, групп ОЦР (нижней и верхней) мы объясняем морфоадаптивными преобразованиями, связанными с изменением специализации, а именно – приспособлением конечности к совершению прямолинейных движений при метании. В связи с чем, в плечевом суставе возникли приспособления, определяющие «вынужденную траекторию» его движения в некоторых позициях.

При метании предметов на большое расстояние обычным способом (из-за головы через плечо), человек предварительно, во время замаха, смещает и разворачивает в суставе головку плечевой кости. Для осуществления такого движения, как правило, локоть выдвигается несколько вперёд (относительно уровня плечевого сустава). Попытка выполнить амплитудный бросок без предварительной ротации затрудняется невозможностью разгибания плечевого сустава в достаточной степени, вызывает в нём дискомфортные ощущения и может привести к травме.

Мы объясняем данный эффект следующим. При опущенной и ненапряжённой грудной конечности контакт между плечевой костью и лопаткой осуществляется в границах зоны нижней группы

ОЦР, когда соприкасаются поверхности с малыми радиусами кривизны – углубление, находящееся ниже *tuberculum glenoidale* лопатки, и нижняя или же медиальная поверхность головки плечевой кости. Эта позиция обеспечивает свободное движение вытянутой конечности почти во всей нижней полусфере, с возможностью абдукции и ретракции плеча до угла, приблизительно, до 80° от вертикали. Помимо большой свободы движения, выгода позиции заключается в том, что движение происходит без существенного напряжения действующих на лопатку и плечевой сустав мышц, т.е. экономично. Если же мышцы суставной манжеты предварительно напряжены, либо локоть при замахе выдвигается вперёд, то головка плечевой кости смещается вверх по гленоиду, смыкаются суставные поверхности большой кривизны, и тогда движение в суставе происходит в области верхней группы ОЦР. В этом случае предел отведения несколько увеличивается, а возможность ретракции уменьшается. Удержание данной позиции требует значительной энергии, но при этом, что самое важное, при достижении предела отведения возникает иной выигрыш: благодаря специфическому ограничению степени свободы создаётся возможность для формирования одноплоскостного сгибательно-разгибательного движения в плечевом суставе. Поворот плоскости, в которой происходит это движение, под нужным углом в левую или правую сторону осуществляется за счёт смещения лопатки, а не изменением угла отведения плечевой кости. Другими словами, контакт суставных поверхностей с большим радиусом кривизны задаёт «вынужденную траекторию» движения плечевого сустава.

Рассматривая грудную конечность человека как пространственную кинематическую цепь, мы обнаруживаем в ней три звена с тремя степенями свободы (лопатка – движения кнаружи, вертикальные и круговые; плечо – отведение, сгибание, осевая ротация; кисть – отведение, сгибание, ротация вместе с лучевой костью) и одно звено с одной степенью свободы (предплечье со сгибанием в плечелоктевом суставе). При этом в грудо-лопаточном и плечевом сочленениях движения могут осуществляться в любых сочетаниях (всего по семь возможных вариантов в каждом сочленении), а движения кисти ограничены автоматической ротацией (невозможностью отведения и приведения при флексии и экстензии запястного сустава) до пяти вариантов. Таким образом, общее количество сочетаний возможных движений во всей кинематической цепи конечности (исключая автоподий) составляет 245 (7×7×1×5). При исключении одной степени свободы в плечевом суставе (дви-

жение по «вынужденной траектории»), количество возможных сочетаний движений в плечевом суставе уменьшится до трёх (сгибание и ротация вместе и по отдельности), а общее количество сочетаний по кинематической цепи составит только 105 (3×7×1×5), т.е. уменьшится на 57,2%, или в 2,33 раза. Соответственно, снижается потребность в контроле за движением конечности во время выполнения броска в цель. Таким образом, при одном и том же уровне нервной регуляции, точность броска может значительно возрасти уже только за счёт морфоадаптационного изменения сопряжённых суставных поверхностей плечевой и лопаточной костей.

Метательные способности австралопитеков и «ранних *Homo*» неизвестны. Некоторые округлые камни олдувайской культуры интерпретировались как метательные снаряды, но надёжных обоснований этого нет. Лопатки австралопитеков *Australopithecus africanus* [Vrba, 1979] и *Australopithecus afarensis* [Johanson et al., 1982; Alemseged et al., 2006; Haile-Selassie et al., 2010; Green, Alemseged, 2012] имеют выраженные адаптации к брахиации, но особенности формы их суставной впадины не исследовались. Изгиб суставных впадин лопаток и головок плечевых костей AL 288-1 из Хадара и KSD-VP-1/1 из Ворансо-Милле очевидно неравномерный, отличный от варианта человекообразных обезьян [Johanson et al., 1982; Haile-Selassie et al., 2010], что позволяет предположить отход от равномерно-сферической поверхности и начало формирования «вынужденных траекторий» уже на этом этапе эволюции. Суставные впадины *Homo heidelbergensis* из Сима де лос Уэсос (Испания, около 600 тыс. лет назад), насколько это можно понять по опубликованным фотографиям, имеют основные черты, типичные для современного человека [Carretero et al., 1997] (рис. 1, 2).

Судя по археологическим исследованиям в Канжере Южной (Кения), активная охота на антилоп была возможна уже 2 млн лет назад [Ferraro et al., 2013]. Нам неизвестны способы этой охоты, но, учитывая подвижность добычи, применение неких метательных снарядов вполне вероятно. Древнейшие достоверные свидетельства использования метательных орудий относятся ко времени около 400 тыс. лет назад: это три копыя из Шонингена с центром тяжести, смещённым в заднюю треть древка, и найденная там же заострённая с двух сторон палка, определённая как метательная палица [Thieme, 1997, 2000]. В Бордер Кэйв (Южная Африка) элементы достоверно метательных орудий появляются как минимум со времени 56 тыс. лет назад [d'Errico et al., 2012; Villa et al., 2012]. Распространение копьёметалок



Рис. 1. Суставные поверхности головки плечевой кости неандертальца, человека современной анатомии и шимпанзе (слева направо)

Примечание. Крестовой штриховкой выделены участки с малым радиусом кривизны

в Европе в мадленское время [Garrod, 1955] недвусмысленно говорит о полностью сформированных метательных способностях верхепалеолитических людей.

Таким образом, хотя достоверные археологические доказательства использования метательных снарядов имеют возраст около 400 тыс. лет назад, можно предположить, что формирование морфофункционального метательного комплекса плечевого сустава могло начаться уже 3,5 млн и достигнуть выраженного развития как минимум 600 тыс. лет назад.

### Выводы

1. У квадрипедальных млекопитающих неравномерная кривизна суставной поверхности головки плечевой кости и гленоида определяет наличие «вынужденной траектории» при разгибании плечевого сустава и отражает степень специализации биологического вида в совершении прямолинейных движений грудной конечности.
2. В отличие от квадрипедальных млекопитающих, у людей специфические изменения рельефа сопряженных поверхностей плечевого сустава, определяющие «вынужденную траекторию» сгибательно-разгибательного движения, развились не в качестве приспособления к ходьбе или бегу, а как морфоадаптация к бросанию предметов в цель.

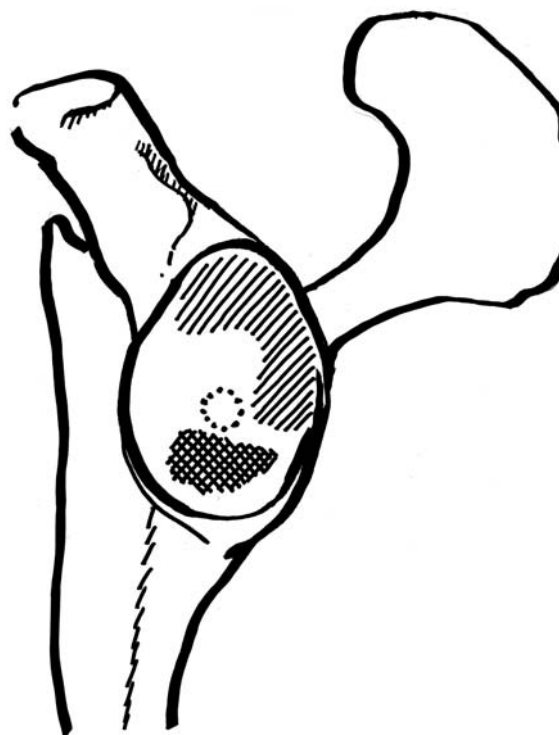


Рис. 2. Рельеф суставной впадины человека

Примечание. Пунктиром обозначен бугорок гленоида, косой штриховкой – участок поверхности с большим радиусом кривизны, крестовой штриховкой – участок с малым радиусом кривизны

3. Особенности суставных поверхностей человеческих плечевой и лопаточной костей могут рассматриваться в качестве одного из родовых признаков и, в частности, использоваться в палеоантропологии как маркер для дифференцировки людей от человекообразных обезьян, адаптированных к древесной локомоции и, возможно, ранних прямоходящих гоминид.

### Библиография

- Волк. Происхождение, систематика, морфология, экология / под ред. Д.И. Бибикова. М.: Наука, 1985.
- Капанджи А.И. Функциональная анатомия. М.: Эксмо, 2009.
- Alemseged Z., Spoor F., Kimbel W.H., Bobe R., Geraads D., Reed D., Wynn J.G.* A juvenile early hominin skeleton from Dikika, Ethiopia // *Nature*, 2006. Vol. 443. P. 296–301.
- Carretero J.M., Arsuaga J.L., Lorenzo C.* Clavicles, scapulae and humeri from the Sima de los Huesos site (Sierra de Atapuerca, Spain) // *J. Hum. Evol.*, 1997. Vol. 33. N 2/3. P. 357–408.
- d'Errico F., Backwell L., Villa P., Degano I., Lucejko J.J., Bamford M.K., Higham Th.F.G., M.P. Colombini, Beaumont P.B.* Early evidence of San material culture represented by organic artifacts from Border Cave, South Africa // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 2012. Vol. 109. N 33. P. 13214–13219.
- Garrod D.* Palaeolithic spear-throwers // *Proc. Prehistoric Society*, 1955. Vol. 21. N 3. P. 21–35.
- Ferraro J.V., Plummer Th.W., Pobiner B.L., Oliver J.S., Bishop L.C., Braun D.R., Ditchfield P.W., Seaman III J.W., Binetti K.M., Seaman J.W., Hertel F., Potts R.* Earliest archaeological evidence of persistent hominin carnivory // *PLoS ONE*, 2013. April 25.
- Fischer L.P., Carret J.P., Gonon G.P., Dimnet J.* Etude cinématique des mouvements de l'articulation scapulo-humérale // *Revue de chirurgie orthopédique et réparatrice de l'appareil moteur*, 1977. Vol. 63. P. 108–112.
- Green D.J., Alemseged Z.* Australopithecus afarensis scapular ontogeny, function, and the role of climbing in human evolution // *Science*, 2012. Vol. 338. P. 514–517.
- Haile-Selassie Y., Latimer B.M., Alene M., Deino A.L., Gibert L., Melillo S.M., Saylor B.Z., Scott G.R., Lovejoy C.O.* An early *Australopithecus afarensis* postcranium from Woranso-Mille, Ethiopia // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 2010. Vol. 107. N 27. P. 12121–12126.
- Irlenbusch U., Berth A., Blatter G., Zenz P.* Variability of medial and posterior offset in patients with fourth-generation stemmed shoulder arthroplasty // *International Orthopaedics*, 2012. Vol. 36. N 3. P. 587–593.
- Johanson D.C., Lovejoy C.O., Kimbel W.H., White T.D., Ward S.C., Bush M.E., Latimer B.M., Coppens Y.* Morphology of the Pliocene partial hominid skeleton (A.L. 288-1) from the Hadar Formation, Ethiopia // *Amer. J. Phys. Anthropol.*, 1982. Vol. 57. P. 403–451.
- Larson S.G.* Evolutionary transformation of the hominin shoulder // *Evolutionary Anthropol.*, 2007. Vol. 16. P. 172–187.
- Matsen F.A., Harryman D.T., Sidles J.A.* Mechanics of glenohumeral instability // *Clinics in Sports Medicine*, 1991. Vol. 10. N 4. P. 783–788.
- McPherson E.J., Friedman R.J., An Y.H., Chokesi R., Dooley R.L.* Anthropometric study of normal glenohumeral relationships // *J. Shoulder and Elbow Surgery*, 1997. Vol. 6. N 2. P. 105–112.
- Roach N.T., Lieberman, D. E., Gill T.J., Palmer W.E., Gill T.J.* The effect of humeral torsion on rotational range of motion in the shoulder and throwing performance // *J. Anatomy*, 2012. Vol. 220. N 3. P. 293–301.
- Thieme H.* Lower Palaeolithic hunting spears from Germany // *Nature*, 1997. Vol. 385. P. 807–810.
- Thieme H.* Lower Palaeolithic hunting weapons from Schöningen, Germany. The oldest spears in the world // *Acta Anthropologica Sinica*, 2000. Supplement to Vol. 19. P. 140–147.
- Vallois H.-V.* L'omoplate humaine (suite) // *Bulletins et Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris. VIII Série*, 1932. Vol. 3. N 1–3. P.3–153.
- Villa P., Soriano S., Tsanova T., Degano I., Higham Th.F.G., d'Errico F., Backwell L., Lucejko J.J., Colombini M.P., Beaumont P.B.* Border Cave and the beginning of the Later Stone Age in South Africa // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 2012. Vol. 109. N 33. P. 13208–13213.
- Vrba E.S.* A new study of the scapula of *Australopithecus africanus* from Sterkfontein // *Amer. J. Phys. Anthropol.*, 1979. Vol. 51. N 1. P. 117–129.
- Westergaard G.C., Liv C., Haynie M.K., Suomi S.J.* A comparative study of aimed throwing by monkeys and humans // *Neuropsychologia*, 2000. Vol. 38. P. 1511–1517.

#### Контактная информация:

Власенко Александр Николаевич:

e-mail: dragrechvan@mail.ru;

Дробышевский Станислав Владимирович:

e-mail: dsv\_anth@mail.ru.

## WHAT DETERMINES THE ACCURACY OF THE THROWING? «FORCED TRAJECTORY» IN THE MOVEMENT OF THE SHOULDER JOINT

A.N. Vlasenko<sup>1</sup>, S.V. Drobyshevsky<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Moscow state academy of veterinary medicine and biotechnology named K.I. Skryabin, Moscow*

<sup>2</sup> *Lomonosov Moscow State University, Department of Anthropology, Moscow*

*Biomechanical capabilities of the glenohumeral joint and coordination brain capabilities of anthropoid primates don't except the ability to throw objects accurately, however, in comparison with human being this potency realizes feebly. In this article different causes of the throwing abilities of apes and human beings, which lie in specialization of the articular surface of the articular cavity of the scapula and the head of a humeral bone of modern human and Neanderthal, are considered.*

*The research was done with the materials of Sub-Faculty of Anatomy and Histology of Moscow state academy of veterinary medicine and biotechnology named K.I. Skryabin, Anthropology Department and Zoological Museum of MSU.*

*Mammal skeletal material over 29 species was used. The curvature of articular surfaces was measured. Simulation modeling of movement, corresponding to throwing one was practicing on skeletal material and volunteers; movement trajectory was fixed with the help of photography. The videorecordings of the trainings and performances of the javelin-throwers were also analyzed.*

*The shape of the articular surface of scapula is sharply different between animals, adapted to the different forms of locomotion: the articular surface of terrestrial interacts between themselves during extension «forced trajectories» way, which limit lateral and rotatory motions; arboreal's glenohumeral joint allows more free movements; brachiator's surfaces are perfectly spherical. We discovered a unique specialized variant in human's and Neanderthal's joint with subdivision of the articular surface into two zones. One of the zone is the cause of the «forced trajectory», which promotes throwing movements and makes them more clear. Archeological testimonies allow to suppose, that morphofunctional throwing complex of the glenohumeral joint began to form 3,5 millions years ago and had been developed about 600 thousand years ago (as minimum).*

*Quadrupedal mammals' erratic curvature of the articular surface of the head of the glenohumeral bone and glenoid determines «forced trajectory» while extension of glenohumeral joint and points the specialization of biological species in making rectilineal motions of a thoracic limb. Unlike the quadrupedal mammals humans' specific changes of the relief of the conjugated surfaces of the glenohumeral joint, which determines the «forced trajectory» of the flexion-extension movement had developed not as an adaptation to walking or running, but as morphic adaptation to throwing objects into the goal.*

*The characteristics of the articular surface of the humans' glenohumeral and scapular bone can be considered one of the ancestral features and can be used in paleontology as a marker for humans' differentiation from anthropoid apes, adapted to wooden locomotion and perhaps from the early orthograde hominids.*

*Keywords: human morphology, anthropology, human origin, shoulder joint, scapula, humerus, throwing, Neanderthals*