

УДК 611—019:611.016

НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ СРАВНИТЕЛЬНО-АНАТОМИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ СТОПЫ БАЛЕРИН И АРТИСТОВ БАЛЕТА

В. И. Пелипенко

(Институт зоологии АН УССР)

Вопросы влияния факторов внешней среды и образа жизни животного на развитие формы, структуры и механических свойств его костей давно привлекают внимание исследователей. На млекопитающих была проведен ряд исследований, в которых решались вопросы филогенетического формирования их скелета и конечностей, в частности вопрос о зависимости между структурой органа и его функцией, для чего нередко проводились эксперименты с изменением величины и характера нагрузки на конечности. Значительный вклад в решение этих вопросов внесли В. Г. Касьяненко (1950, 1952, 1953, 1958), С. Ф. Манзий (1953, 1959), Е. И. Дашилова, А. И. Свиридов (1953), Р. Г. Радилловская (1956) и др. Сочетание сравнительно-анатомического метода изучения организма с разнообразными экспериментальными методиками позволило получить новые сведения о характере взаимоотношений между структурой органа и его функцией. В настоящее время является общепризнанным, что форма и структура костей конечностей в значительной мере зависят от величины и характера физической нагрузки, испытываемой конечностями (Касьяненко, 1950). В результате исследований, в которых суставы конечностей млекопитающих рассматривались как органы, установлено специфическое влияние каждого из трех типов опоры на строение компонентов суставов и характер их сочленений. Результаты анализа сравнительно-анатомических и экспериментальных данных о влиянии функции на формирование скелета тазовой конечности у животных с различным типом опоры послужили основанием для настоящей работы — новой серии исследований, проведенных на человеке.

Известно, что у млекопитающих различных видов этапы развития и темп дифференцировки костного скелета различны. При сравнении скелетов новорожденных животных различных видов со скелетом плода человека установлено, что по степени дифференцировки скелет новорожденной крысы может быть приравнен скелету 4½-месячного плода, скелет новорожденного медвежонка — скелету шестимесячного плода, скелет новорожденных кролика, собаки или кошки — скелету восьмимесячного плода человека, скелет новорожденного шимпанзе подобен скелету 4—5-летнего ребенка, скелет новорожденного поросенка — скелету 7—9-летнего ребенка, скелеты новорожденных копытных и морской свинки — скелету подростка 12—13 лет (Воккен, 1951).

Сроки окостенения различных элементов стопы являются одним из определяющих показателей при установлении допустимых размеров физической нагрузки детей и подростков и определении их полового развития. В литературе имеются данные о влиянии труда и различных видов спорта на формирование скелета конечностей человека (Привес, 1951, 1963; Крылова, 1954; Кальвейт, 1952; Майкова-Строганова, Рохлин, 1957; Косинская, 1958; Машкара, 1960 и др.). Однако экспериментальных работ, посвященных вопросу влияния изменения функции конечности на процесс окостенения стопы человека в литературе обнаружить

не удалось, если не считать единственной работы Н. С. Косинской (1958).

Целью данной работы было выяснение влияния повышенной и специфической нагрузки на формирование скелета стопы. Стопа у балерин и артистов балета — мужчин испытывает именно такую нагрузку, что отмечал ряд исследователей. «Как известно, ни в одном другом виде человеческой деятельности мы не встречаемся с такой длительной активной опорой на пальцы и концевые фаланги, как это имеет место в балете. В то же время, именно эта поза является ключевой в современном классическом балетном танце» (Мейбов, Рохлин, 1967, с. 43). Специфическую опору балерин на концевые фаланги пальцев А. Н. Северцов остроумно сравнивает с фиксированной в процессе эволюции фазой фалангохождения у копытных. «Ганцовщица, — пишет он, — когда ей приходится танцевать, опираясь лишь на конец носка, вполне уподобляется животному, или, говоря более вежливым языком, легкой газели» (Северцов, 1949, с. 280). Мы провели в 1956—1971 гг. рентгенологическое изучение перестройки стопы учащихся хореографического училища (в дальнейшем артистов балета) в периоды обучения и трудовой деятельности. Измененную нагрузку стопы у учащихся хореографического училища получает начиная с 10 лет, т. е. в возрасте, когда процесс окостенения стопы и рост ее элементов еще продолжают. При этом девочки обучаются передвигаться на концевых фалангах пальцев (в пуантах), а мальчики — на пальцах (в балетных туфлях). Контролем для нас служило развитие стопы у их ровесников — учащихся обычных школ. Ежегодно мы проводили последовательную многократную рентгенографию стопы у 126 учащихся Киевского хореографического училища. Рентгенограммы делали в трех проекциях: передне-задней, боковой и при опоре на концевые фаланги (в пуантах). Каждую рентгенограмму измеряли в 182 точках, данные заносили в специальные таблицы. Спустя 11 лет после окончания училища проводили последнюю рентгенографию стопы у тех же учащихся, ставших артистами балета.

Анализ последовательных серий рентгенограмм стопы учащихся хореографического училища и артистов балета дал нам немало новых и интересных данных о характере и последовательности изменений строения стопы под влиянием повышенной и специфической нагрузки. Такая нагрузка прежде всего влияет на локализацию, время и последовательность окостенения эпифизарных хрящей плюсневых костей и пальцевых фаланг. Сравнив данные о сроках и последовательности окостенения эпифизарных хрящей плюсневых костей и пальцевых фаланг у учащихся хореографического училища с таковыми у учащихся средних школ — их ровесников, а также с данными Н. В. Крыловой (1954), Н. С. Косинской (1958), мы установили, что все элементы стопы у учащихся хореографического училища окостеневают значительно раньше.

Известно, что девочки, занимающиеся классическим балетом, передвигаются на концевых фалангах (рис. 1, 1), юноши — на пальцах (рис. 1, 2), а девочки, занимающиеся характерными танцами, — на пальцах и на концевых фалангах пальцев. Так как в процессе обучения и в дальнейшем на профессиональной сцене артисты балета испытывают нагрузку, проходя все три фазы опоры, соответствующие стопо-, пальце- и фалангохождению, то целесообразно сравнить последовательность и время окостенения эпифизарных хрящей элементов стопы у учащихся хореографического училища с таковыми этих же элементов у животных со сходным характером опоры.

Анализ рентгенограмм стопы учащихся хореографического училища показал, что у девочек первыми окостеневают tuberositas MT5 и прокси-

мальный эпифиз рhIII первого пальца (13 лет 1 мес.), затем — проксимальный эпифиз рhI третьего пальца (13 лет 4 мес.), рhI второго пальца (13 лет 6 мес.), дистальные эпифизы МТЗ—МТ2 (13 лет 4 мес.), проксимальный эпифиз рhI первого пальца (13 лет 6 мес.), проксимальный эпифиз рhI четвертого пальца (13 лет 8 мес.), задняя бугристость calcanei (14 лет 1 мес.), проксимальный эпифиз рhI пятого пальца (14 лет

4 мес.) и в последнюю очередь дистальный эпифиз МТ5 (14 лет 6 мес.). Процесс окостенения эпифизарных хрящей элементов стопы заканчивается в среднем к 14 годам 6 месяцам. У юношей, как и у девушек, в первую очередь окостеневают tuberositas МТ5 (13 лет 8 мес.), затем — проксимальный эпифиз рhIII первого пальца (15 лет 8 мес.), задняя бугристость calcanei (16 лет 2 мес.), проксимальный эпифиз рhI третьего пальца (16 лет 6 мес.), проксимальный эпифиз рhI второго и четвертого



Рис. 1. Опора балерин и артистов балета:
1 — на концевые фаланги; 2 — на пальцы.

пальцев (16 лет 8 мес.), проксимальный эпифиз МТ1 (16 лет 8 мес.), проксимальный эпифиз рhI пятого пальца и (в последнюю очередь) все дистальные эпифизы МТ2—МТ5 (17 лет). Заканчивается этот процесс в среднем к 17 годам.

Полученные данные о последовательности и сроках окостенения метаэпифизарных зон различных компонентов стопы позволяют предвидеть характер распределения функциональной нагрузки при различных способе опоры. Следует заметить, что только tuberositas МТ5 и проксимальный эпифиз рhIII первого пальца у девочек и у юношей окостеневают в одинаковой последовательности, но уже в третьей и в последующих точках окостенение наступает в соответствии с увеличением функциональной нагрузки. Наиболее характерно для девочек и юношей окостенение в третьей точке — в ней уже проявляется направленная нагрузка на отдельные элементы стопы. У девочек в этот период окостеневают проксимальные эпифизы рhI третьего — второго пальцев; дистальные эпифизы МТЗ—МТ2, у юношей — задняя бугристость calcanei.

Г. Г. Воккен (1951) обоснованно считал, что окостенение начинается раньше всего там, где скелет более нагружен функционально. Следовательно, различная последовательность окостенения одноименных элементов стопы у девочек и юношей при различном характере опоры у тех и других определяется степенью нагруженности ее участков — раньше окостеневают наиболее нагруженный. По мнению В. Г. Касьяненко (52), пяточная и таранная кости окостеневают первыми потому, что они особенно энергично действуют мышечная сила и компрессия, а другие кости плюсны выполняют рессорно-буферные функции и окостеневают значительно позднее.

По данным В. Г. Мухина (1940), сроки окостенения эпифиза пяточной кости у поросят тесно связаны с ростом и развитием животного, в частности с увеличением его живого веса. Для балерин и артистов балета

характерна повышенная нагрузка на икроножные мышцы при специфической опоре у первых на конечные фаланги, у вторых — на пальцы. Рядом экспериментальных работ также доказано, что для сохранения положения стойки «смирно» трехглавые мышцы голени испытывают напряжение в 2—2,5 раза больше напряжения, вызываемого весом тела; при подъеме тела на носки напряжение этих мышц увеличивается еще больше (Семенов, 1949). Известно, что артисты балета при фиксированной опоре на пальцах выполняют еще и поддержки, и потому нагрузка в точке фиксации сухожилия икроножных мышц у них чрезмерно велика. У профессиональных артистов балета точка фиксации сухожилия икроножных мышц на *tuber calcanei* чаще всего травмируется. Следовательно, раннее окостенение задней бугристости *calcanei* у юношей является следствием увеличенной и специфически направленной нагрузки как во время обучения в училище, так и на профессиональной сцене. У девочек при специфической опоре на концевые фаланги вектор нагрузки распределяется по длиннику плюсневых костей, а не перпендикулярно, как при ходьбе. На рентгенограмме стопы балерины при опоре на

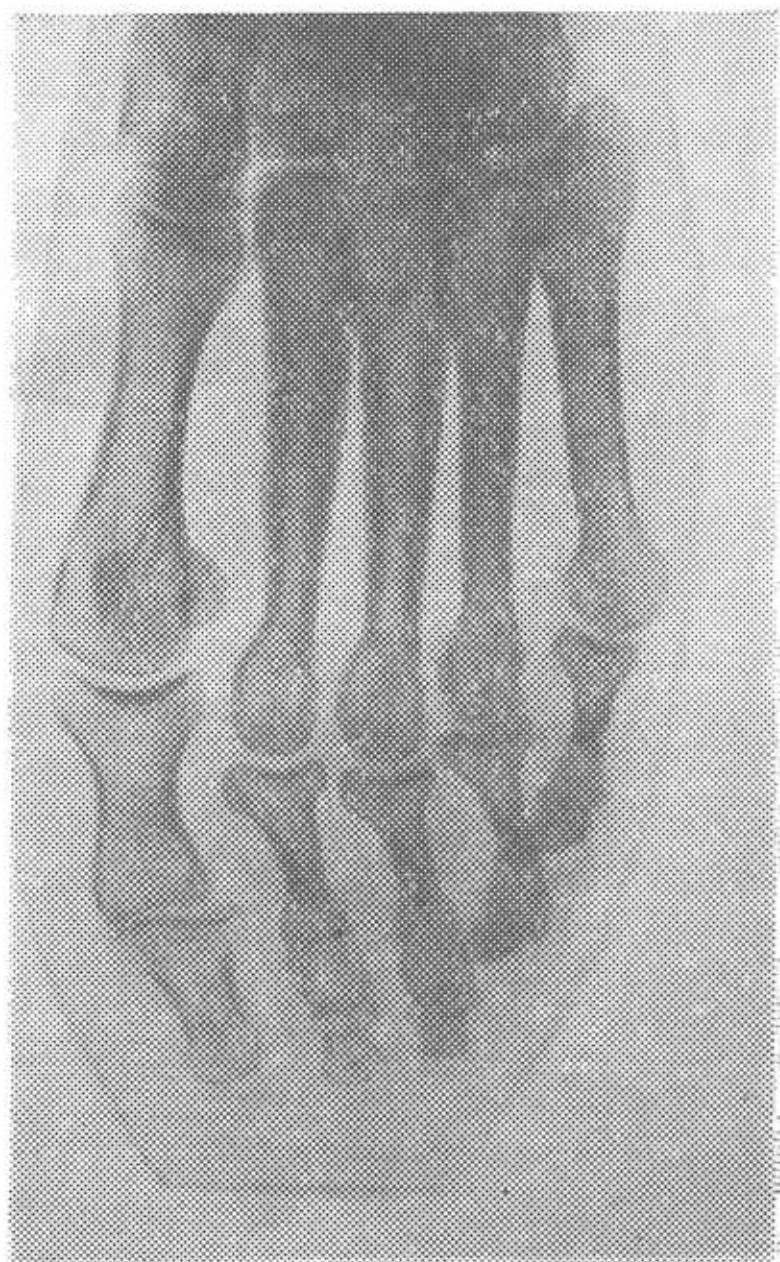


Рис. 2. Рентгенограмма стопы балерины при опоре на концевые фаланги (передне-задняя проекция).

концевые фаланги (в пуантах) в передне-задней проекции (рис. 2) отчетливо видно, что основная нагрузка распределяется по длиннику плюсневых костей $MT2-MT3$ и на соответствующие пальцы, а также ложится на $MT1$ и первый палец. Это и вызвало раннее окостенение проксимальных эпифизов $phIII$ первого пальца, phI третьего — второго пальцев и дистальных эпифизов $MT3-MT2$, а также увеличение толщины диафизов $MT3-MT2$ за счет увеличения массы компактного вещества. Следует заметить, что проксимальные эпифизы phI четвертого и особенно пятого пальцев, а также дистальные эпифизы $MT4-MT5$ окостеневают в последнюю очередь; при этом никаких изменений, видимых на рентгенограммах, не происходит.

Еще Д. Г. Рохлин (1938) указывал, что для балерины наиболее характерно увеличение толщины диафизов второй и третьей плюсневых костей. Им же был введен термин «рабочая гипертрофия». О наличии рабочей гипертрофии у балерин писали также М. Г. Привес (1951), Н. В. Крылова (1954), К. И. Машкара (1960) и др. При анализе рентгенограмм мы также наблюдали наличие рабочей гипертрофии второй и третьей плюсневых костей у всех обследованных учениц и даже у юношей. Следует заметить, что толщина диафизов второй и третьей плюсневых костей увеличивается и после наступления синостоза метаэпифизарных зон всех элементов стопы. Это свидетельствует о том, что реактивность и пластичность костной ткани сохраняются и в период трудовой деятельности взрослых артистов балета. (В настоящем сообщении этот вопрос не рассматривается). Таким образом, различный характер опоры у девочек и у юношей вызвал различную последовательность окостене-

ния эпифизарных хрящей одноименных элементов стопы. Так как вектор нагрузки при фиксированной опоре на концевые фаланги (в пуантах) распределяется по длиннику плюсневых костей и ложится в основном на срединные лучи (MT3—MT2 и их пальцы), следует считать, что давление веса тела на суставные поверхности проксимальных эпифизов фаланг пальцев и дистальных эпифиз плюсневых костей обусловили ускоренное окостенение метаэпифизарных зон именно этих элементов стопы.

В ряде экспериментальных исследований доказано, что суставные вогнутости принимают, а суставные выпуклости передают нагрузку, вогнутости рассчитаны на прием более резкой нагрузки (тяжесть тела при прыжке или в начале наступания), выпуклости — на длительную опору. У балерин с большим стажем выпуклости суставных поверхностей дистальных эпифизов MT2—MT3 приобретают уплощенную форму, что свидетельствует о большой нагрузке, испытываемой их суставными поверхностями при фиксированной опоре на концевые фаланги.

Окостенение метаэпифизарных зон остальных элементов стопы наступает в той последовательности, которая приводится в тексте. Неравномерная последовательность окостенения элементов стопы у девушек отражает характер распределения нагрузки на элементы стопы при специфической опоре на конечные фаланги.

Таким образом, сходство в характере опоры балерин и артистов балета и фалангоходящих и пальцеходящих животных, а также сходство последовательности окостенения у них отдельных элементов стопы проливает дополнительный свет на пути становления скелета конечностей в процессе онто- и филогенеза. Это сходство подтверждается также данными о влиянии измененной нагрузки на рост и сроки окостенения скелета конечностей, полученными Е. И. Даниловой и А. И. Свиридовым (1953), Р. Г. Радилловской (1956) в экспериментальных исследованиях на животных, а также данными Г. Г. Воккена (1951), В. Г. Мухши (1940), А. К. Петрова (1964) и др. о закономерностях дифференцировки костного скелета млекопитающих.

Все изложенное позволяет сделать выводы: специфический характер опоры у балерин и артистов балета обуславливает более раннее окостенение эпифизарных хрящей тех элементов стопы, которые испытывают большую функциональную нагрузку, порядок и время окостенения элементов стопы отражает характер распределения вектора нагрузки на ее элементы при различном характере опоры; сходство характера опоры балерин и фалангоходящих млекопитающих обусловило сходное распределение нагрузки на срединные лучи плюсневых костей и их фаланги и сходство последовательности окостенения эпифизарных хрящей гомологичных элементов стопы; сходство характера опоры артистов балета мужчины и пальцеходящих млекопитающих, а также сходное распределение у них нагрузки на все плюсневые кости и пальцы стопы обусловили сходство в порядке сностозирования эпифизарных хрящей одноименных компонентов стопы у тех и других.

ЛИТЕРАТУРА

- Воккен Г. Г. 1951. Некоторые закономерности дифференцировки костного скелета млекопитающих. Тр. У съезда АГЭ, 1.
 Данилова Е. И., Свиридов А. И. 1953. Рост и окостенение конечностей в условиях экспериментально измененной нагрузки. Зоол. журн., т. XXXII, в. 4.
 Кальвейт М. Э. 1952. Влияние физической нагрузки на трубчатые кости стопы. Автореф. канд. дисс. Л.
 Пелипенко В. Г. 1950. К сравнительной анатомии и функции стопы млекопитающих. Тр. Ин-та зool. АН УССР, т. III.

- Его же. 1952. О некоторых особенностях эволюции и функции стопы млекопитающих. Тр. V съезда АГЭ. Л.
- Его же. 1953. Частная физиология органов движения млекопитающих как одна из актуальных проблем сравнительной морфологии. Зоол. журн., т. XXXII, в. 4.
- Его же. 1958. Приспособительные изменения в органах движения в связи с различной опорой и функцией. Тр. VI съезда АГЭ, т. 1. Харьков.
- Косицкая Н. С. 1958. Развитие скелета стопы и голеностопного сустава. Вестн. рентгенол. и радиол., № 1.
- Крылова Н. В. 1954. Влияние физических нагрузок на скелет стопы. Там же. № 4—6.
- Лейбов Э. Б., Рохлин Д. Г. 1967. Некоторые особенности скелета артистов балета. Арх. АГЭ, т. III, № 11.
- Майкова-Строганова В. С., Рохлин Д. Г. 1957. Кости и суставы в рентгеновском изображении. М.
- Мазаный С. Ф. 1953. Вопросы эволюции кисти млекопитающих. Зоол. журн., т. XXXII, в. 4.
- Его же. 1959. Запястье млекопитающих в свете эволюции и функции их грудных конечностей. Автореф. докт. дисс. К.
- Машкина К. И. 1960. Динамика явлений рабочей гипертрофии костной системы некоторых рабочих и артистов балета. Арх. АГЭ, т. XXXVIII, № 1.
- Мухин В. Г. 1940. К вопросу о развитии и окостенении некоторых коротких костей карпального и скакательного суставов у поросят и подсосунков. Уч. зап. Казан. вет. ин-та, в. 52. Казань.
- Петров А. К. 1964. Окостенение скелета в индивидуальном развитии лосе. Зоол. журн., т. XLIII, в. 12.
- Привес М. Г. 1951. Влияние внешних воздействий на строение костной и лимфатической систем. Тр. V съезда АГЭ. Л.
- Его же. 1963. Влияние физической нагрузки на процесс синастозирования. Мат-лы 6-й науч. конф. по возрастн. морф., физиол. и биохимии. М.
- Радловская Р. Г. 1956. О приспособительных изменениях дистальных звеньев скелета конечностей в эксперименте. В сб.: «Проблемы функциональной морфологии двигательного аппарата». М.
- Рохлин Д. Г. 1938. Пути и успехи советской рентгенологии в области изучения индивидуального изображения скелета. Природа, № 3.
- Северцов А. Н. 1949. Собрание сочинений, т. 5. М.
- Семенов Д. А. 1949. Стопа как рычаг при подъеме на носки, ходьбе, беге и прыжках. Тез. докл. V съезда АГЭ. Л.

Поступила 3.V 1972 г.

SOME RESULTS OF A COMPARATIVE-ANATOMICAL STUDYING OF FOOT IN BALLET-DANCERS

V. I. Pelipenko

(Institute of Zoology, Academy of Sciences, Ukrainian SSR)

Summary

As a result of analysing a series of radiograms of foot new data are obtained on specific effect of an increased loading on the development of different elements of foot in ballet-dancers. The sequence of differentiation in elements of foot skeleton and succession of ossification of its epiphyseal cartilages observed in the students of choreographic school are very similar to those in unguligrade and digitigrade mammals.