

АНАТОМИЯ ЧЕЛОВЕКА

УДК 611.728.1/4:616–007.24:792.8

Обзор

ПРОФЕССИОНАЛЬНО ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У АРТИСТОВ БАЛЕТА: ФАКТОРЫ ДЕФОРМАЦИИ (ОБЗОР)

Н. В. Ялунин — ФГБОУ ВО «Уральский ГМУ» Минздрава России, доцент кафедры анатомии человека, кандидат медицинских наук; **А. О. Полянок** — ФГБОУ ВО «Уральский ГМУ» Минздрава России, студент; **Е. А. Московских** — ФГБОУ ВО «Уральский ГМУ» Минздрава России, студент.

PROFESSIONALLY DETERMINED CHANGES IN THE LOWER LIMBS IN BALLET DANCERS: DEFORMATION FACTORS (REVIEW)

N. V. Yalunin — Ural State Medical University, Assistant Professor of the Department of Human Anatomy, PhD; **A. O. Polyankov** — Ural State Medical University, Student; **E. A. Moskovskikh** — Ural State Medical University, Student.

Дата поступления — 25.06.2021 г.

Дата принятия в печать — 18.02.2022 г.

Ялунин Н. В., Полянок А. О., Московских Е. А. Профессионально обусловленные изменения нижних конечностей у артистов балета: факторы деформации (обзор). Саратовский научно-медицинский журнал 2022; 18 (1): 68–72.

Цель: определение основных факторов, детерминирующих возникновение профессиональных деформаций нижних конечностей у артистов балета на основе анализа данных литературы. Проведен анализ 33 научных публикаций, представленных в базах данных и web-ресурсах MEDLINE, PubMed, Google Scholar, Cyberleninka, электронной библиотеке eLibrary и опубликованных в период с 2011 по 2020 г. Наиболее частыми профессиональными деформациями нижних конечностей у артистов балета являются вальгусная деформация стопы, *talus partitus*, гипертрофия заднелатерального отростка таранной кости (формирование отростка Steida), уплощение подтаранных суставов и избыточная ацетабулярная ретроверсия. На основе анализа исследований определена очередность возникновения профессиональных изменений нижних конечностей у артистов балета (стопа — голеностопный сустав — тазобедренный сустав — коленный сустав). Произведена систематизация факторов, обуславливающих профессиональную деформацию нижних конечностей, и объединение в группы на основе их генезиса (экзо- и эндогенные). Определен характер влияния ряда экзо- и эндогенных факторов на особенности развития патологических морфофункциональных изменений нижних конечностей у артистов балета.

Ключевые слова: профессионально обусловленные изменения нижних конечностей, балет.

Yalunin NV, Polyankov AO, Moskovskikh EA. Professionally determined changes in the lower limbs in ballet dancers: deformation factors (review). Saratov Journal of Medical Scientific Research 2022; 18 (1): 68–72.

Objective: to determine the main factors determining the occurrence of professional deformities of the lower extremities in ballet dancers based on the analysis of literature data. The analysis of 33 scientific publications presented in the databases and web resources of MEDLINE, PubMed, Google Scholar, Cyberleninka, the electronic library eLibrary and published in the period from 2011 to 2020 was carried out. The most frequent professional deformities of the lower extremities in ballet dancers are valgus deformity of the foot, *talus partitus*, hypertrophy of the posterolateral process of the talus bone (formation of the Steida process), flattening of the butt joints and excessive acetabular retroversion. Based on the analysis of studies, the order of occurrence of professional changes in the lower extremities of ballet dancers (foot — ankle joint — hip joint — knee joint) was determined. The systematization of the factors that cause the professional deformity of the lower extremities, and the association into groups based on their genesis (exo- and endogenous) is carried out. The nature of the influence of a number of exo- and endogenous factors on the features of the development of pathological morpho-functional changes of the lower extremities in ballet dancers is determined.

Key words: professionally determined changes of lower limb, ballet.

Введение. Согласно данным Росстата, в настоящее время отмечается снижение уровня общего здоровья населения, в частности наблюдается рост отклонений в развитии и функционировании опорно-

двигательного аппарата: на конец 2018 г. частота заболеваний опорно-двигательного аппарата составила 976:100000, из них на хронические заболевания и травмы нижних конечностей приходится 18,5% [1].

Одновременно с этим отмечается повышение спроса на обучение хореографическому искусству на фоне популяризации балета, что приводит к открытию большого количества балетных студий, хо-

Ответственный автор — Ялунин Николай Викторович
Тел.: +7 (902) 2683681
E-mail: n.yalunin@mail.ru

реографических отделений в школах искусств и более раннему началу освоения техники классического балета. Перечисленные тенденции обуславливают обострение проблемы сохранения высоких критериев отбора учащихся в хореографические училища, повышение профессиональной нагрузки артистов балета и студентов хореографических училищ, связанной с интенсивными продолжительными занятиями и преподаванием в открывающихся балетных школах. Указанные причины провоцируют более раннее и ускоренное развитие профессиональных изменений нижних конечностей, а также затрудняют профилактику травматизма и сохранение работоспособности артистов балета: по данным, приведенным Н. Pohjola с соавт., частота травм опорно-двигательного аппарата среди артистов балета составляет 4,4 на 1000 часов и 6,8 травмы на артиста в течение года [2].

Подобные проблемы характерны для многих видов спорта, в том числе для художественной гимнастики [3]. Однако, несмотря на относительную схожесть данного вида спорта с балетом, разработанные для спортсменов программы профилактики травматизма и реабилитации не применимы в балетной практике в силу специфики исполнительской техники (пальцевая техника, выворотность, статики и т.д.).

Длительное время проблеме профессиональных изменений нижних конечностей артистов балета не уделялось достаточного внимания, поскольку основной акцент ставился на педагогическую составляющую обучения. Однако в связи с перечисленными ранее тенденциями в последнее время происходит активное развитие изучения данной проблемы отечественными и зарубежными исследователями. Несмотря на многоаспектность проводимых исследований и разнообразие представленного материала, отсутствуют структурированность рассмотрения проблемы и синтез подходов к определению факторов, детерминирующих возникновение и развитие профессиональных изменений нижних конечностей у артистов балета, что необходимо для комплексного изучения обозначенной проблемы. Этим обуславливается актуальность данного исследования.

Цель — определение основных факторов, детерминирующих возникновение профессиональных деформаций нижних конечностей у артистов балета на основе анализа данных литературы.

Проведен анализ научных публикаций, представленных в базах данных и web-ресурсах MEDLINE, PubMed, Google Scholar, Cyberleninka, электронной библиотеке eLibrary и охватывающих временной период с 2011 по 2020 г. Критериями включения в обзор являлись статьи на русском и английском языках, результаты когортных и рандомизированных исследований, протоколы диагностики, а также систематические обзоры исследуемой проблемы. Критериями исключения из выборки послужили статьи с отсутствием четко сформулированных выводов, статьи с платным доступом, информационные материалы, представленные на сайтах медицинских учреждений, газетные публикации.

Зарубежными исследователями определена очередность возникновения профессиональных изменений нижних конечностей у артистов балета: стопа — голеностопный сустав — тазобедренный сустав — коленный сустав. Несмотря на то, что для понимания потенциальных причин возникновения и развития патологических морфофункциональных изменений нижней конечности необходимо четкое

представление об анатомо-функциональных и биомеханических характеристиках всех компонентов нижней конечности, в данной статье не приводится детальное рассмотрение данного аспекта, поскольку он достаточно подробно изучен и представлен в многочисленных научных исследованиях.

В литературных источниках освещается широкий спектр факторов, обуславливающих возникновение и развитие профессиональных изменений нижней конечности у артистов балета. Условно их можно разделить на две группы: экзо- и эндогенные. Следует заметить, что результаты многочисленных экспериментальных и клинических исследований не позволяют однозначно определить весомость каждого фактора и выделить доминирующий из них при развитии профессиональных изменений.

Ориентируясь на результаты исследований, можно выделить подгруппы экзогенных факторов: 1) биомеханические особенности техники классического балета; 2) нарушение техники выполнения упражнений вследствие неправильного обучения; 3) особенности профессиональной обуви; 4) особенности профессиональной диеты; 5) последствия профессиональных травм.

1. Биомеханические особенности техники классического балета. Данная группа факторов выделяется в большинстве работ как отечественных, так и зарубежных исследователей. Основными аспектами рассмотрения данной подгруппы являются особенности опоры при движении и выполнении хореографических элементов, а также многократное повторение однотипных движений [4].

А. Особенности опоры при движении и выполнении хореографических элементов. Отечественные и зарубежные исследователи сходятся во мнении, что основной причиной дегенеративных изменений нижних конечностей является смещение центра тяжести вперед относительно фронтальной плоскости при принятии положения *et pointe*, *demi pointe* и *plié* [5–7]. При этом последняя позиция сопровождается усиленной внешней ротацией тазобедренного сустава, вследствие чего увеличивается воздействие тяжести тела на первую плюсневую кость в направлении отведения [6, 8, 9]. Данный механизм был неоднократно доказан методом 3D-моделирования с применением индивидуальных маркерных датчиков в работах F. J. Sobrino с соавт. (2019), H. Seki с соавт. (2020) [7, 10]. Результаты исследований биомеханики прыжковых элементов, проведенных рядом исследователей, свидетельствуют о том, что их успешное выполнение возможно только при наличии профессиональных изменений строения стопы, голеностопного и коленного суставов [2, 11–13].

Несмотря на то, что в отечественных работах подобная практика 3D-моделирования не нашла активного применения, исследователи пришли к аналогичным выводам на основе наблюдения за динамикой изменений строения стопы и суставов нижней конечности при применении инструментальной биомеханической диагностики двигательной патологии [14]. Так, М. А. Марина (2015) в той же степени обращает внимание на чрезмерную нагрузку, приходящуюся в основном на передний отдел стопы во время исполнения поз и вращений на полупальцах, однако ею было отмечено, что перенос веса тела танцовщика происходит не только на I плюсневую кость, но повышенной компрессии подвергаются II и III кости плюсны. Вместе с тем обозначено различие в половых особенностях движений: в женском классическом

танце (в отличие от мужской техники, в которой наблюдается более равномерное распределение веса танцора на кости плюсны) на пуантах вес тела переносится на кончики пальцев ног (дистальные фаланги I–III пальцев) [15]. В свою очередь, Д. В. Бахарев, Д. В. Пантелеева (2016) показывают, что при нахождении в позиции на «полупальцах» наблюдается нефизиологическое сочетание сгибания голеностопного сустава при разогнутых плюснефаланговых суставах. В данном случае опора приходится на головки плюсневых костей и подушечки пальцев, вследствие чего вес тела переносится на них [16].

Б. Многократное повторение однотипных движений. Данная подгруппа в одинаковой степени рассматривается как отечественными, так и зарубежными исследователями как фактор, провоцирующий возникновение усталостных травм, стресс-реакций со стороны костных элементов и связанных с ними изменений строения нижних конечностей [17]. Как было замечено могут наблюдаться дегенеративные изменения и отек костного мозга таранной кости [18]. Помимо того, у артистов балета на фоне хронических перегрузок высока вероятность развития стрессовых травм таранной, пяточной костей и гипертрофии заднелатерального отростка таранной кости (формирование отростка Stieda) [19]. Зарубежные исследователи (M. S. S. Costa с соавт., H. Seki с соавт.) рассматривают однотипные длительные упражнения (повторяющиеся прыжки, вращения и положение plié) в качестве предпосылок возникновения травм преимущественно голеностопного и коленного суставов [6, 20, 21], отечественные исследователи — как фактор, обуславливающий развитие дегенеративных изменений костей и суставов стопы.

2. Нарушение техники выполнения упражнений вследствие неправильного обучения. Зарубежными авторами (H. Seki с соавт., C. Biz с соавт.) особое внимание уделяется неправильному обучению, причем особо подчеркивается тот факт, что при раннем начале освоения некоторых техник (в том числе et pointe) не учитываются возрастные особенности формирования костей и окончательных форм суставов, что приводит к неправильному освоению исполнительской техники. Именно это, в свою очередь, определяет ослабление связочного аппарата голеностопного сустава, что приводит к его нестабильности. Кроме того, происходит изменение биомеханики стопы во время толчковой фазы выполнения хореографических элементов, что вызывает развитие дегенеративных изменений передней трети стопы [6, 20, 22].

3. Особенности профессиональной обуви. К одному из основных факторов, ведущему к профессиональному изменению нижних конечностей артистов балета, и отечественные [15, 16], и зарубежные [22, 23] исследователи относят пуанты. Данный вид обуви, плотно облекая стопу, стягивает ее поперечный свод, что приводит к напряжению I пальца и отклонению увеличению угла его отклонения относительно оси первой плюсневой кости.

4. Особенности профессиональной диеты. Данный фактор не упоминается в отечественных исследованиях, однако в ряде зарубежных работ отмечается влияние данного фактора на изменения минерального состава костей (снижение содержания цинка, кальция и магния из-за белково-углеводной направленности рациона питания) и повышение вероятности возникновения стрессовых переломов

из-за снижения толерантности суставов и костей нижней конечности к высоким нагрузкам [24].

5. Последствия профессиональных травм. Наличие травм приводит к ранним и выраженным нарушениям архитектоники костей, деформации суставов и связочного аппарата нижних конечностей (так, в статье И. А. Кузнецова подчеркивается, что предшествующая травматическая ситуация, а именно перелом заднего отростка таранной кости, предопределяет формирование посттравматических остеофитов, создающих предпосылки развития механического конфликта стопы) [5]. Данный фактор имеет фатальное значение: по данным M. S. S. Costa с соавт. 2016 г., от 86 до 97,48% травм в классическом балете являются травмами нижних конечностей, при этом из них 64% поврежденных становятся результатом получения множественных микротравм. Повторяющиеся микротравмы бедренной кости и тазобедренного сустава способны спровоцировать хондролабральную нестабильность, развитие паралабральных ганглиозных кист, которые, в свою очередь, могут вызвать локальный компрессионный масс-эффект [20, 25].

Особое внимание в освещении данного аспекта проблемы уделяется усталостным травмам, которые выявляются у 75% девушек и 82% юношей на начальном этапе профессиональной деятельности [15].

При изучении эндогенных факторов, обуславливающих возникновение и развитие профессиональных изменений нижних конечностей у артистов балета, наблюдается различие в оценке их роли в профессиональной карьере артистов балета: в большинстве отечественных работ эндогенные факторы рассматриваются в аспекте успешности освоения техники балета, в то время как зарубежные исследователи определяют их как условия, катализирующие развитие профессионально обусловленных дегенеративных изменений. К группе эндогенных факторов относят следующие: 1) наследственно-анатомические особенности; 2) пол; 3) возраст.

1. Наследственно-анатомические особенности. Несмотря на возможность выделения данной подгруппы факторов среди отечественных и зарубежных исследователей существует различие в подходах к определению данной группы. Так, зарубежные исследователи при рассмотрении компонентов подгруппы оперируют понятием «наследственность/наследственная предрасположенность», отечественные исследователи акцентируют внимание на индивидуальном анатомическом строении и его вариативной изменчивости. В данную подгруппу входят: а) особенности строения стопы; б) особенности голеностопного сустава;

А. Особенности строения стопы. К ним относятся гипермобильность I–II плюсневых костей и I плюснефалангового сустава, египетская стопа (большая длина I пальца стопы по сравнению с остальными при небольшой длине I плюсневой кости), врожденная аномалия I плюснефалангового сустава; врожденное плоскостопие, обуславливающие развитие патогенетического механизма, связанного с первичными изменениями нагрузки на переднемедиальную часть стопы из-за нарушения симметричного распределения нагрузки на подошву стоп, что приводит к смещению центра тяжести тела внутрь вследствие коллапса медиального свода и перегрузке средней части стопы, что приводит к увеличению первого плюснефалангового угла, что является одним из проявлений вальгусной деформации [6, 22, 26, 27].

Б. Особенности голеностопного сустава. К ним относятся врожденная гипермобильность голеностопного сустава, наличие добавочной кости (*os trigonum*), гипертрофированный задний отросток таранной кости (отросток Steida), а также *talus partitus*, являющаяся последствием нарушения процесса окостенения таранной кости, позволяющие артистам балета увеличить амплитуду сгибания и разгибания сустава (например, возможно развитие разгибания до 113° (при норме 20°)) [18]; недостаточное развитие связочного аппарата голеностопного сустава (в частности, латеральной коллатеральной связки) при принятии положения en dehors вызывает пронацию стопы с вращением I плюсневой кости и последующим напряжением плюснефалангового сустава, что также приводит к повреждению капсулярных структур I пальца стопы [22].

В. Ацетабулярная и бедренная ретроверсии. Ацетабулярная ретроверсия — смещение и разворот вертлужной впадины в дорсальном направлении, сопровождающийся ее уплощением. Анатомическая особенность ацетабулярной ретроверсии заключается в неполном покрытии головки бедренной кости в тазобедренном суставе, что увеличивает угол ее возможного вращения. Ретроверсия бедренной кости — отклонение шейки бедренной кости в горизонтальной плоскости кзади (антеверсия менее 15°). Данная анатомическая особенность способствует выполнению артистами балета таких хореографических элементов, как *plié* и *arabesque*. Данные особенности оказывают значительное влияние на изменение угла свободной внешней и внутренней ротации (84 и 49° соответственно) по сравнению с непрофессиональными танцорами и людьми, не имеющими хореографической подготовки (63 и 56° соответственно), а также увеличение угла отведения бедра [28].

Недостаточное развитие ацетабулярной и бедренной ретроверсий препятствует освоению балетных техник, основанных на принятии выворотного положения нижней конечности, поскольку вклад тазобедренного сустава в принятие данного положения составляет от 50 до 70%. При недостаточном угле внешней ротации тазобедренного сустава при выполнении хореографических элементов, в частности *plié*, в движение по кинематической цепи вовлекаются другие суставы нижней конечности, которым несвойственно движение, необходимое для принятия нужной позиции. В подобном положении происходит гиперпронация подтаранных суставов («вкатывание») что увеличивает усилие, применяемое к первой плюсневой кости и соединенной с ней проксимальной фаланге в направлении отведения, в результате чего возможно провоцирование развития вальгусной деформации. Так, в работе С. Biz с соавт. подтверждается корреляция между степенью вальгусной деформации и степенью супинации при выполнении *plié* нехарактерных суставов (чрезмерное выравнивание колена и стопы в поперечной плоскости и изменение угла наклона таза) [22, 29].

2. Пол. Согласно данным М.А. Zhanasraev с соавт., среди женщин-балерин наблюдается более частая встречаемость меньшей площади суставных поверхностей плюсневых костей, больший угол отклонения I плюсневой кости относительно продольной оси стопы, а также наличие гиперэластичности подошвенных связок стопы [23, 30], что сопровождается повышенной встречаемостью дегенеративных изменений сустава Лисфранка и II плюсневой кости. Помимо этого, В.Л. Hansberger с соавт. выявлено,

что сгибание в голеностопном суставе более выражено у мужчин — артистов балета по сравнению с женщинами [11]. Перечисленные особенности могут быть связаны с различием мужской и женской балетных техник и хореографической обуви [22, 24, 31].

3. Возраст. Ни зарубежными, ни отечественными исследователями не выявлено значимой корреляции между возрастом артистов балета и степенью профессиональных деформаций нижних конечностей. Однако в исследованиях приводятся данные, свидетельствующие о влиянии возраста начала систематическими занятиями балетом на начало проявления профессиональных изменений. Так, J. Gorwa с соавт. в исследовании 2020 г. отмечают, что начало интенсивных занятий с 10-летнего возраста приводят к наиболее ранней выраженности появлений профессиональных изменений [32]. Подобная тенденция была отмечена в работе 2016 г. S.A. Ozdinc, F.N. Turan: наиболее значимые процессы в структурировании стопы в среднем продолжаются до 14–16 лет [33]. Наибольшее количество дегенеративных изменений наблюдается среди артистов балета с хореографическим стажем от 10 лет, при этом ни в одном научном изыскании не выявлено статистической зависимости степени и количества профессиональных изменений нижней конечности от интенсивности и длительности хореографических занятий.

Заключение. При анализе отечественных и зарубежных исследований внимание акцентировалось на многообразии факторов экзо- и эндогенной природы. При рассмотрении экзогенных факторов было выявлено, что наибольшее количество исследователей акцентируют внимание на хореографических движениях и позах, частых повторениях однотипных движений как факторах, в значительной степени приводящих к развитию патологических морфофункциональных изменений нижней конечности. Прочие экзогенные факторы, связанные с особенностями рациона питания, хореографической обувью рассматривают в большей мере в качестве катализаторов развития патологических изменений. При изучении эндогенных факторов было выявлено отличие их значимости в российских и иностранных литературных источниках: наследственно-анатомические особенности в отечественных работах рассматриваются в качестве необходимых условий для обеспечения эффективного освоения балетной техники, в зарубежных работах подчеркивается их триггерное значение при развитии морфофункциональных изменений. Одновременно с этим в настоящее время не представляется возможным выделение ведущих факторов развития патологических морфофункциональных изменений нижней конечности.

Конфликт интересов не заявляется.

References (Литература)

1. Statistical publications. Healthcare in Russia 2019. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13218> (20 June 2021).
2. Pohjola H, Sayers M, Mellifont R, et al. Three-dimensional analysis of a ballet dancer with ischial tuberosity apophysitis: A case study. *Journal of Sports Science and Medicine* 2014; 13 (4): 874–80.
3. Zavalishin DS, Makarenko MV. New knowledge about human physiology as the basis for innovation in ballet education. *Bulletin of Vaganova Ballet Academy* 2015; 5 (40): 96–101. Russian (Завалишин Д. С., Макаренко М. В. Инновации в балетном образовании на основе новых знаний о физиологии человека. *Вестник Академии русского балета им. А. Я. Вагановой* 2015; 5 (40): 96–101).

4. Vaganova A. Basic principles of classical ballet Russian ballet technique. 4th ed. N. Y.: Dover Publications, Inc; 2015; 171 p.
5. Kuznetsov IA, Velichko KE, Shchepkina EA. Features of treatment for posterior impingement in sportsmen and ballet dancers. *Traumatology and Orthopedics of Russia* 2015; 77 (3): 61–8. Russian (Кузнецов И.А., Величко К.Е., Щепкина Е.А. Особенности лечения заднего импиджмент-синдрома голеностопного сустава у артистов балета и спортсменов. *Травматология и ортопедия России* 2015; 77 (3): 61–8.
6. Seki H, Miura A, Sato N, et al. Correlation between degree of hallux valgus and kinematics in classical ballet: A pilot study. *PLOS One* 2020; 15 (4): e0231015.
7. Sobrino FJ, Guillén P. Overuse injuries in professional ballet: influence of age and years of professional practice. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine* 2017; 6 (5): 2325967117712704.
8. Vasil'ev OS, Stepanik IA, Levushkin SP, Rohlin AV. Physical overload in choreography and sports (systematic analysis). *Message I. Morphology of eversion. New Research* 2020; 61 (1): 98–125. Russian (Васильев О.С., Степаник И.А., Левушкин С.П., Рохлин А.В. Перегрузки от объема движений в хореографии и спорте (систематический анализ). Сообщение I. Морфология выворотности. Новые исследования 2020; 61 (1): 98–125.
9. Steinberg N, Siev-Ner I, Zeev A, Dar G. The association between hallux valgus and proximal joint alignment in young female dancers. *International Journal of Sports Medicine* 2015; 36 (1): 67–74.
10. Carter SL, Bryant AR, Hopper LS. An analysis of the foot in turnout using a dance specific 3D multi-segment foot model. *J Foot Ankle Res. Journal of Foot and Ankle Research* 2019; 12 (10): 1–11.
11. Hansberger BL, Acocello S, Slater LV, et al. Peak lower extremity landing kinematics in dancers and nondancers. *Journal of Athletic Training* 2018; 53 (4): 379–85.
12. Herb CC, Grossman K, Feger MA, et al. Lower extremity biomechanics during a drop-vertical jump in participants with or without chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training* 2018; 53 (4): 364–71.
13. Quanbeck AE, Russell JA, Handley SC, Quanbeck DS. Kinematic analysis of hip and knee rotation and other contributors to ballet turnout. *Journal of Sports Sciences* 2017; 35 (4): 331–8.
14. Romakina NA, Fedonnikov AS, Kireev SI, et al. Application of techniques of biomechanics in the status evaluation and pathology correction of locomotor system (review). *Saratov Journal of Medical Scientific Research* 2015; 11 (3): 310–6. Russian (Ромакина Н.А., Федонников А.С., Киреев С.И. и др. Использование методов биомеханики в оценке состояния и коррекции патологии опорно-двигательной системы. *Саратовский научно-медицинский журнал* 2015; 11 (3): 310–6).
15. Marina MA. Development of "ballet-foot" in the professional and pre-professional choreographic education. *Bulletin of Vaganova Ballet Academy* 2015; 5 (40): 102–12. Russian (Марина М.А. Формирование балетной стопы в системе профессионального и предпрофессионального хореографического образования. *Вестник Академии русского балета им. А.Я. Вагановой* 2015; 5 (40): 102–12).
16. Bakharev DV, Panteleeva DV. Anatomical and biomechanical features in foot development revealed among students of Samara ballet school. *Bulletin of Vaganova Ballet Academy* 2016; 6 (47): 162–8. Russian (Бахарев Д.В., Пантелеева Д.В. Анатомо-биомеханические особенности развития стоп учащихся (на примере Самарского хореографического училища). *Вестник Академии русского балета им. А.Я. Вагановой* 2016; 6 (47): 162–8).
17. Sobrino FJ, de la Cuadra C, Guillén P. Overuse injuries in professional ballet: injury-based differences among ballet disciplines. *Orthop J Sports Med* 2015; 3 (6): 2325967115590114.
18. Nechaev VA, Vasil'ev Alu. Diagnostic imaging of pathologic changes in the ankle joint of ballet dancers (literature review). *Genij Orthopedii* 2020; 1 (26): 137–40. Russian (Нечаев В.А., Васильев А.Ю. Лучевая диагностика патологических изменений голеностопного сустава у артистов балета (обзор литературы). *Гений ортопедии* 2020; 1 (26): 137–40).
19. Rehmani R, Endo Y, Bauman P, et al. Lower extremity injury patterns in elite ballet dancers: ultrasound/MRI imaging features and an institutional overview of therapeutic ultrasound guided percutaneous interventions. *The Musculoskeletal Journal of Hospital for Special Surgery* 2015; 11 (3): 258–77.
20. Costa MSS, Ferreira AS, Orsini M, et al. Characteristics and prevalence of musculoskeletal injury in professional and non-professional ballet dancers. *Brazilian Journal of Physical Therapy* 2016; 20 (2): 166–75.
21. Fong C-M, Blackburn JT, Norcross MF, et al. Ankle-dorsiflexion range of motion and landing biomechanics. *Journal of Athletic Training* 2011; 46 (1): 5–10.
22. Biz C, Favero L, Stecco C, Aldegheri R. Hypermobility of the first ray in ballet dancer. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal* 2012; 2 (4): 282–8.
23. Zhanaspaev MA, Bokembaev NA, Tlemisov AS, et al. Modern methods of diagnosis and treatment of static deformity of the forefoot. Literature review. *Science & Healthcare* 2020; 5 (22): 31–46.
24. Perry SK, Buddhadev HH, Brilla LR, Suprak DN. Mechanical demands at the ankle joint during saut de chat and temps levé jumps in classically trained ballet dancers. *Open Access Journal of Sports Medicine* 2019; (10): 191–7.
25. Zazirnyi IM, Ryzhkov BS. View of the sport traumatologist on the biomechanics of the hip. *Trauma* 2019; 1 (20): 102–10.
26. Vasil'ev OS. Ballet «rise» as a phenotypic marker of connective tissue dysplasia. Department of traumatology and orthopedics 2016; Special issue: 131. Russian (Васильев О.С. Балетный «подъем» как фенотипический маркер дисплазии соединительной ткани. Кафедра травматологии и ортопедии 2016; Спецвыпуск: 131).
27. Skwiot M, Śliwiński G, Milanese S, Śliwiński Z. Hypermobility of joints in dancers. *PLOS One* 2019; 14 (2): e0212188.
28. Nechaev VA, Vasil'ev AYU. Imaging of ballet artists' hip joint pathology (literature review). *Radi Practice* 2018; (3): 51–60. Russian (Нечаев В.А., Васильев А.Ю. Лучевая диагностика патологии тазобедренного сустава у артистов балета (обзор литературы). *Радиология — практика* 2018; (3): 51–60).
29. Kiselevskiy YuM, Ivantsov AV. Structural and functional characteristics of knee joint. *Journal of the Grodno State Medical University* 2008; (1): 109–12. Russian (Киселевский Ю.М., Иванцов А.В. Структурно-функциональные особенности коленного сустава. *Журнал ГрГМУ* 2008; (1): 109–12).
30. Amorim T, Metsios GS, Wyon M, et al. Bone mass of female dance students prior to professional dance training: A cross-sectional study. *PLOS One* 2017; 12 (7): e0180639.
31. Washington I, Mayes S, Genderton C, Pizzari T. Differences in turnout among professional classical ballet dancers. *Medical Problems of Performing Artists* 2016; 1 (3): 160–5.
32. Gorwa J, Kabaciński J, Murawa Mi, Fryzowicz A. On the track of the ideal turnout: Electromyographic and kinematic analysis of the five classical ballet positions. *PLOS One* 2020; 15 (3): e0230654.
33. Ozdinc SA, Turan FN. Effects of ballet training of children in Turkey on foot anthropometric measurements and medial longitudinal arc development. *Journal of the Pakistan Medical Association* 2016; 66 (7): 869–74.