



Обзорная статья
УДК 161.718-07
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-1781>



Измерение длины нижних конечностей: обзор литературы

Д.А. Петрова¹, В.М. Кенис^{1,2}

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

Актуальность. Измерение длины нижних конечностей является важным элементом оценки состояния опорно-двигательного аппарата. При выявлении несоответствия в длине ног точность методики измерения будет обуславливать выбор дальнейшей тактики лечения пациента. Однако на сегодняшний день не существует единого мнения специалистов относительно оптимальной и точной методики измерения длины нижних конечностей.

Цель обзора — на основании анализа зарубежной и отечественной литературы определить оптимальную методику измерения длины нижних конечностей.

Материал и методы. Было отобрано более 70 научных статей с 1983 по 2021 г. в базах данных PubMed (MEDLINE) и eLIBRARY на русском и английском языках.

Результаты. Анализ литературных данных не выявил оптимальной методики измерения длины нижних конечностей. Клинические методики оценки продемонстрировали плохую воспроизводимость и высокие погрешности измерений. Лучевые методики визуализации также не лишены погрешностей измерений, дополнительно оказывают на пациента лучевую нагрузку. Методики визуализации, такие как УЗИ и МРТ, описаны лишь в нескольких исследованиях, что не позволяет полноценно определить все их достоинства и недостатки при измерении длины нижних конечностей.

Заключение. Изучение и разработка новых методик определения разной длины нижних конечностей, а также усовершенствование уже существующих методик позволят улучшить качество диагностики данного патологического состояния, а следовательно, повлиять на качество проводимого лечения.

Ключевые слова: разновеликость нижних конечностей, измерение длины нижних конечностей, разная длина нижних конечностей.

Петрова Д.А., Кенис В.М. Измерение длины нижних конечностей: обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(3):97-105. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1781>.

Петрова Дарья Александровна; e-mail: radd.arr@mail.ru

Рукопись получена: 17.05.2022. Рукопись одобрена: 25.07.2022. Статья опубликована онлайн: 24.08.2022.

© Петрова Д.А., Кенис В.М., 2022



Leg Length Measurement: Review

Daria A. Petrova¹, Vladimir M. Kenis^{1,2}

¹ H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, St. Petersburg, Russia

² Mechnikov North-Western State Medical University, St. Petersburg, Russia

Background. Measurement of the length of the lower extremities is an important part of the assessment of the musculoskeletal system. If there is a discrepancy in the length of the legs, the accuracy of the measurement technique will determine the choice of further tactics for treating the patient. However, to date, there is no consensus among experts regarding the optimal and accurate method for assessing this clinical condition.

The aim is to analyze foreign and domestic researches about measurement of limb length discrepancy and to determine the optimal method for measuring the lengths of the lower extremities.

Methods. More than 70 scientific articles were selected from 1983 to 2021 in the PubMed/MEDLINE and eLIBRARY databases in Russian and English languages.

Results. An analysis of the literature data did not reveal the optimal method for measuring the length of the lower extremities. Clinical evaluation procedures have demonstrated poor reproducibility and high measurement errors. Radiation imaging techniques also have measurement errors, additionally exerting radiation exposure on the patient. Imaging techniques such as ultrasound and MRI are described in several studies, which does not allow to fully determine all the advantages and disadvantages of these methods when measuring the lengths of the lower extremities.

Conclusion. The study and development of new methods for diagnostics different lengths of the lower extremities, as well as the improvement of existing methods, will improve the quality of diagnosis of this pathological condition, and therefore affect the quality of the treatment for its correction.

Keywords: measurement limb length discrepancy, limb length inequality.

Cite as: Petrova D.A., Kenis V.M. [Leg Length Measurement: Review]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(3):97-105. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1781>.

✉ Daria A. Petrova; e-mail: radd.arr@mail.ru

Submitted: 17.05.2022. Accepted: 25.07.2022. Published Online: 24.08.2022.

© Petrova D.A., Kenis V.M., 2022

ВВЕДЕНИЕ

Определение длины нижних конечностей является важным моментом при оценке патологии ног. По данным литературы, почти 90% населения страдают разновеликостью нижних конечностей до 1 см [1, 2]. Выделяют анатомическую и функциональную разновеликость [3]. Анатомическая разновеликость возникает, когда совокупная длина костей и толщина хрящей значительно различаются между конечностями. Анатомическая разновеликость бывает врожденной и приобретенной [4]. Наиболее распространенными причинами врожденной разновеликости являются вывихи тазобедренного сустава, гемигипертрофия с поражением скелета нижних конечностей, односторонняя косилапость. Приобретенная разновеликость может развиваться из-за инфекций, параличей, опухолей, хирургических вмешательств, таких как эндопротезирование тазобедренного или коленного суставов [4]. Функциональная разновеликость может быть вызвана контрактурой мягких тканей, контрактурами тазобедренных или коленных суставов, наклоном таза или деформациями стопы [1, 3]. Например, сгибательные контрактуры коленного и тазобедренного суставов могут вызывать явное укорочение ноги, в то время как отводящая контрактура бедра и эквинусная установка стопы могут функционально удлинять пораженную конечность.

Оценка разновеликости является сложной задачей для исследователей и клиницистов, так как до сих пор существуют разногласия по поводу оптимальной методики измерения длины нижних конечностей, а данные об их достоверности, надежности и диагностической точности различаются. Точность метода определяется как разница измерения с использованием метода визуализации по сравнению с фактическим измерением, тогда как надежность метода заключается в различии между результатами измерений разных исследователей и у одного исследователя при измерении разных пациентов [5]. Выбор верного хирургического метода коррекции разновеликости нижних конечностей требует повышения качества методик диагностики данного патологического состояния [6, 7, 8, 9, 10].

Цель исследования — на основании анализа зарубежной и отечественной литературы определить оптимальную методику измерения длины нижних конечностей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Осуществлялся поиск научных статей с 1983 по 2021 г. в базах данных PubMed (MEDLINE) и eLIBRARY. Ключевые слова, использовавшиеся для поиска на русском языке: измерение длины нижних конечностей, длина нижних конечностей,

длина ног, измерение длины ног. Ключевые слова для поиска на английском языке: leg length discrepancy, limb length discrepancy, leg length inequality, leg length, limb length, measurement LLD. После поиска просматривались списки литературы найденных статей для дополнительного отбора публикаций подходящей тематики.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для оценки длины нижних конечностей используются две основные категории методов: клинические методы и методы визуализации [1, 5, 11].

Клинические методы оценки длины нижних конечностей

Измерение сантиметровой лентой

Методика используется для измерения длины каждой нижней конечности путем измерения расстояния между костными ориентирами и называется прямым клиническим методом измерения разновеликости. В 21 исследовании для измерения длины сегментов использовалась сантиметровая лента [12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32]. В большинстве исследований значения, полученные при использовании сантиметровой ленты, сопоставляли с результатами рентгенологических снимков как эталонными [13, 14, 15, 16, 21, 22, 23, 25, 29, 31]. Только некоторые авторы использовали полноценные рентгенограммы нижних конечностей, тогда как часть исследователей оценивали разницу в длине нижних конечностей по прицельным рентгенограммам конкретных областей, таких как тазобедренные, коленные и голеностопные суставы [12, 16]. В двух исследованиях эталонными значениями являлись данные УЗИ-диагностики [18, 20]. Несколько авторов использовали КТ-сканограммы как эталонные значения [23, 26, 27]. В одном исследовании оценивали удаленность медиальной и латеральной лодыжек от пола [29]. Некоторые авторы оценивали межэкспертную и внутриэкспертную согласованность результатов полученных измерений [11, 12, 17]. Еще в одном исследовании сравнивались результаты, полученные при помощи сантиметровой ленты, с результатами, полученными при помощи приспособления Metrecom [16]. По данным И.Т. Батршина и Т.Н. Садовой, при измерении длины нижних конечностей и сегментов с использованием сантиметровой ленты у 1000 детей в 19% случаев имелось изменение длины сегментов в зависимости от положения, в котором производилось измерение — стоя, сидя и лежа [32]. Лишь в нескольких публикациях сообщалось, что метод измерения сантиметровой лентой надежен и/или валиден [22, 23, 26, 27]. Большинство авторов [11, 13, 15, 18, 19, 20, 24, 26, 28, 30] сделали вывод о том, что методика измерения лентой

неточная: выявлен широкий разброс результатов, слабая корреляция с другими методами и расхождение с рентгенографией, что может привести к неправильному расчету небольшой разницы в длине нижних конечностей. Кроме того, существуют определенные причины разновеликости, такие как малоберцовая гемимелия и посттравматическая потеря костной ткани, вовлекающая стопу, где значительная часть укорочения конечности является дистальной по отношению к медиальной лодыжке, соответственно, не оценивается при использовании данной методики оценки.

Методика подставных блоков

Выравнивание положения таза пациента относительно горизонтальной плоскости в положении стоя с помещением блоков известной высоты под короткую конечность называется «непрямым» клиническим методом измерения разновеликости. Этот метод использовался в 11 исследованиях [12, 14, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 29, 33, 34]. В двух исследованиях при оценке результатов эталонным значением считались данные, полученные при проведении КТ [23] и УЗИ [17]. Во всех остальных — результаты рентгенологического обследования. Методика подставных блоков определена как надежная, точная и релевантная или превосходящая методику измерения сантиметровой лентой в пяти исследованиях [12, 21, 23, 24, 29]. Однако в нескольких исследованиях выявлены низкая валидность и надежность по сравнению с рентгенологическими исследованиями [14, 19, 34]. Кроме того, J. Edeen с соавторами определили методику подставных блоков, как менее точную в сравнении с ультразвуковым измерением [19].

Е. Hanada с соавторами сравнивали методику подставных блоков с пальпацией гребней подвздошной кости для определения величины разновеликости. Значения, полученные при использовании данной методики, сравнивались с данными рентгенограмм как с эталонным значением. Исследователи пришли к выводу, что полученные результаты говорят о высокой надежности и достаточной валидности предложенной методики, однако других упоминаний ее использования в литературе не встречается [35].

Остеопатические техники

Для определения функциональных укорочений остеопаты используют уникальные техники, такие как тест Дерифилда–Томпсона, позволяющий с точностью определять разницу в длине менее 3 мм при оценке межэкспертной согласованности [36, 37, 38]. Однако эти исследования проводились на небольших группах пациентов, и ни в одном из них не использовалась другая методика оценки разницы в длине нижних конечностей. Данный

недостаток дизайна исследований был нивелирован в исследовании D.W. Rhodes с соавторами, в котором остеопатическая методика измерений сравнивалась с измерениями, полученными при оценке разновеликости на рентгенограммах нижних конечностей в положении стоя [39]. Несмотря на положительную корреляцию, значения разницы в длине конечностей сильно отличались в зависимости от методики измерения, что сподвигло исследователей провести еще одну работу, направленную на определение разницы в длине нижних конечностей в зависимости от положения пациента — лежа на животе и лежа на спине. Полученные результаты сравнивались с рентгенограммами нижних конечностей в положении стоя, что позволило выявить низкую валидность теста и меньшую, чем ожидалось, надежность исследования [40].

Исследование Н.Т. Nguyen с соавторами посвящено оценке межэкспертной согласованности при измерении длины нижних конечностей у пациентов в положении лежа на животе. Оно продемонстрировало хорошую воспроизводимость при использовании метода активатора [41].

В еще одном исследовании была высчитана минимальная величина разновеликости, которую можно безошибочно определить с использованием остеопатической техники оценки — 3,74 мм. Такие точные данные получены благодаря известной величине подкладок, имитирующих разновеликость нижних конечностей в эксперименте [42].

Позднее данные безошибочного определения величины разницы в длине нижних конечностей были увеличены до 4–6 мм благодаря использованию модифицированных хирургических ботинок [43].

Ряд исследователей считают, что межэкспертная согласованность при оценке разновеликости зависит от опытности исследователей и снижается при попытках увеличения точности измерений [44, 45, 46, 47]. Исследование R. Cooperstein и M. Lucente, посвященное оценке разновеликости в положении пациента лежа на спине и лежа на животе, продемонстрировало низкую согласованность между полученными измерениями [48]. Еще одно исследование, также проведенное R. Cooperstein с соавторами, было посвящено оценке компрессирующей методики выявления разновеликости и определению различий между анатомическим и функциональным укорочением. Результаты продемонстрировали высокую надежность внутриэкспертной и межэкспертной согласованности, однако авторы указывают, что радиологические методики измерения являются более точными и надежными [49]. Еще одно исследование R. Cooperstein с соавторами, посвященное математическому моделированию теста Аллиса,

опровергает ценность остеопатических методик оценки из-за значительного расхождения получаемых результатов в процессе измерений, возникающего вследствие особенностей позиционирования пациентов в момент проведения процедуры [50]. Исследование M. Farella с соавторами, направленное на выявление разновеликости, вызванной нарушениями в височно-нижнечелюстном суставе, не выявило корреляции между патологией височно-нижнечелюстного сустава и разной длиной нижних конечностей [51].

Методы визуализации

Доступные в настоящее время методы визуализации включают обычную рентгенографию, компьютерную рентгенографию, микродозовую цифровую рентгенографию, УЗИ, КТ и МРТ. Распространение цифровой рентгенографии послужило стимулом для проведения исследования, посвященного сравнению измерений, полученных при оценке пленочных и цифровых снимков [52].

Сравнение результатов, полученных при измерении пленочных и цифровых снимков

S. Khakharia с соавторами провели исследование сопоставимости, точности и воспроизводимости измерений разновеликости между цифровыми снимками в системе PACS и стандартными распечатанными рентгенограммами [52]. Измерения проводились независимо двумя исследователями. Для обоих методов была заявлена сравнимая надежность и отличная согласованность полученных результатов. Поэтому был рекомендован переход от печатной пленки к цифровым изображениям.

Рентгенография таза для определения величины разновеликости

В четырех исследованиях оценивалась сопоставимость результатов измерений разновеликости нижних конечностей, полученных при измерении рентгенограмм таза в прямой проекции [53, 54, 55, 56]. Эталонными исследованиями служили панорамные рентгенограммы нижних конечностей в переднезадней проекции в положении стоя или результаты КТ. Авторы всех исследований пришли к выводу, что следует проявлять осторожность при определении величины разновеликости по рентгенограммам таза из-за ограничения их сопоставимости с эталонными методами.

Панорамная рентгенография нижних конечностей в положении стоя

Панорамная рентгенография нижних конечностей в положении стоя признана «золотым стандартом» при оценке разновеликости нижних конечностей [4]. Ряд исследователей определили высокую или почти идеальную надежность метода панорамной рентгенографии [57, 58, 59, 60]. Эталонным

методом в некоторых из этих исследований выступал метод КТ, причем в одном из них панорамная рентгенография в переднезадней проекции в положении стоя превзошла КТ-сканограмму по точности получаемых измерений [60]. Кроме того, специалисты, проводившие эти исследования, рекомендуют использовать методику не только для определения величины разновеликости нижних конечностей, но и для оценки осевых деформаций нижних конечностей. Однако также опубликованы результаты исследования M.D. Ahrend с соавторами, демонстрирующего погрешности до 6 см при измерении панорамных рентгенограмм в переднезадней проекции у одних и тех же пациентов в течение периода лечения. Авторы статьи утверждают, что при сравнении результатов измерений интактной конечности значения отличаются более чем на 2 см у 76% исследуемых [61].

Бипланарная система визуализации EOS

Система EOS представляет собой рентгенологический аппарат, позволяющий осуществлять съемку в двух взаимно перпендикулярных проекциях [62, 63]. Был проведен ряд исследований для оценки точности измерений разновеликости нижних конечностей [64, 65, 66]. Ввиду высокой точности получаемых результатов эталонный метод оценки не использовался. При сравнении рентгенологической нагрузки A. Clavé с соавторами пришли к выводу, что полученные изображения фантомов сопоставимы с диагностическими и могут быть использованы для последующего обследования живых пациентов, чтобы уменьшить радиационное облучение [64]. В двух других исследованиях 2D- и 3D-измерения с использованием системы EOS считались точными и высоконадежными. Однако оба исследования выявили методологические проблемы [65, 66].

Компьютерная томография

V. Poutawera и N.S. Stott в своем исследовании оценивали надежность измерений разной длины нижних конечностей, полученных при использовании КТ [67]. Эталонный стандарт не использовался. Хотя внутриэкспертная согласованность повторных измерений была почти идеальной, КТ-сканограммы должны выполняться более одного раза и перепроверяться лечащим врачом.

Ультразвуковое исследование

Несколько исследований посвящены оценке надежности измерения при разновеликости нижних конечностей методом ультразвуковой диагностики [18, 20, 68, 69]. Эталонным стандартом было рентгенографическое измерение. Авторы всех исследований пришли к выводу, что УЗИ для оценки разновеликости — методика простая в исполнении

и значительно более точная в сравнении с клиническими методиками, независимо от того, какой тип аппарата используется.

Магнитно-резонансная томография

Хотя МРТ традиционно используется для визуализации мягких тканей, этот метод диагностики становится все более популярным для оценки костных аномалий. В исследовании J. Riad с соавторами величину разницы в длине конечностей оценивали с использованием МРТ [70]. На сагиттальных T1-взвешенных томограммах нижних конечностей измеряли длину таза, бедра, голени и пяточной кости в положении пациента на спине с полностью выпрямленными ногами. Измерения проводились двумя опытными специалистами и повторялись через 2 нед. Полученные результаты свидетельствуют о высокой надежности методики для оценки размеров сегментов нижних конечностей.

ОБСУЖДЕНИЕ

Клинические методики характеризуются легкостью применения в рутинной практике и плохой воспроизводимостью с высокими погрешностями получаемых результатов измерений. Лучевые методики также не лишены погрешностей, ко всему прочему оказывают на пациента рентгенологическую нагрузку. Именно поэтому, на наш взгляд, нецелесообразно использование КТ в повседневной диагностике разности конечностей.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Петрова Д.А. — сбор и обработка данных, написание текста статьи.

Кенис В.М. — разработка концепции исследования, редактирование текста статьи.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Не требуется.

Исследования, посвященные применению УЗИ и МРТ для оценки разности конечностей, носят единичный характер и не позволяют в полной мере оценить достоинства и недостатки данных методик оценки разности конечностей.

Кроме того, сложность диагностики несоответствия длины нижних конечностей заключается в том, что сравнение результатов происходит с методиками, также имеющими погрешности. При прямом измерении костей людей эпохи голоцена (современных людей) разница в длине бедра и голени составляет не более 1% от длины сегмента [71], тогда как, по данным исследований, описывающих методики клинических и визуализирующих способов оценки разности конечностей, разная длина конечностей в популяции встречается с частотой до 90% [1, 2], что указывает скорее на высокие погрешности используемых методик измерения, чем на «эпидемию» разности конечностей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показал анализ источников литературы, универсального метода диагностики разности конечностей на сегодняшний день не существует. Разработка новых методик диагностики разности конечностей, а также усовершенствование существующих позволят улучшить качество диагностики данного патологического состояния, а следовательно, и качество проводимого лечения для его коррекции.

DISCLAIMERS

Author contribution

Daria A. Petrova — the collection and processing of material, writing the draft.

Vladimir M. Kenis — research conception, text editing.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. Not required.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Knutson G.A. Anatomic and functional leg-length inequality: a review and recommendation for clinical decision-making. Part I, anatomic leg-length inequality: prevalence, magnitude, effects and clinical significance. *Chiropr Osteopat.* 2005;13:11. doi: 10.1186/1746-1340-13-11.
2. Ситель А.Б., Скоромец А.А., Гойденко В.С., Карпеев А.А., Васильева Л.Ф., Саморуков А.Е. Мануальная терапия, диагностика и лечение заболеваний опорно-двигательного аппарата. *Мануальная терапия.* 2003;(4):4-21.
Sitel' A.B., Sitel' A.B., Skoromets A.A., Goidenko V.S., Karpeev A.A., Vasil'eva L.F., Samorukov A.E. [Manual therapy, diagnosis and treatment of diseases of the musculoskeletal system]. *Manual'naya terapiya* [Manual Therapy]. 2003;(4):4-21. (In Russian).
3. Kayani B., Pietrzak J., Hossain F.S., Konan S., Haddad F.S. Prevention of limb length discrepancy in total hip arthroplasty. *Br J Hosp Med (Lond).* 2017;78(7):385-390. doi: 10.12968/hmed.2017.78.7.385.
4. Gurney B. Leg length discrepancy. *Gait Posture.* 2002;15(2):195-206. doi: 10.1016/s0966-6362(01)00148-5.
5. Sabharwal S., Kumar A. Methods for assessing leg length discrepancy. *Clin Orthop Relat Res.* 2008;466(12):2910-2922. doi: 10.1007/s11999-008-0524-9.
6. Кенис В.М., Клычкова И.Ю., Мельченко Е.В., Иванов С.В., Сапоговский А.В. Коррекция деформаций нижних конечностей у детей с помощью метода управляемого роста. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.* 2013;(4):С. 50-55.
Kenis V.M., Klychkova I.Yu., Mel'nichenko E.V., Ivanov S.V., Sapogovskiy A.V. [Guided growth technique for correction of lower extremity deformities in children]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im N.N. Priorova* [N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics] 2013;(4):50-55. (In Russian).
7. Аранович А.М., Диндиберя Е.В., Климов О.В., Новиков К.И. Ошибки и осложнения при удлинении голени у больных ахондроплазией. *Травматология и ортопедия России.* 2005;(1):36-37.
Aranovich A.M., Dindiberya E.V., Klimov O.V., Novikov K.I. [Errors and complications at shin lengthening in patients with achondroplasia] *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2005;(1):36-37. (In Russian).
8. Куценко С.Н. Интрамедуллярный дистракционный остеосинтез — современный реконструктивно-восстановительный метод хирургического лечения заболеваний опорно-двигательной системы. *Таврический медико-биологический вестник.* 2009;12(4):107-112.
Kutsenko, S.N. [Intramedullary distraction osteosynthesis is a modern reconstructive and restorative method of surgical treatment of diseases of the musculoskeletal system] *Tavrisheskiy medikobiologicheskiy vestnik.* [Tauride Medical Biological Bulletin]. 2009;12(4):107-112. (In Russian).
9. Артемьев А.А., Ивашкин А.Н., Кашуб А.М., Соловьев Ю.С., Гулулян Г.Г. Особенности хирургического лечения посттравматической разной длины нижних конечностей у взрослых пациентов. *Журнал им. Н.В. Склифосовского. «Неотложная медицинская помощь».* 2020;9(4):573-579.
Artemiev A.A., Ivashkin A.N., Kashoob A.M., Solovyov Yu.S., Gululyan G.G. [Features of surgical treatment of posttraumatic lower limbs of different lengths in adult patients]. *Zhurnal im. N.V. Sklifosovskogo. «Neotlozhnaya meditsinskaya pomoshch'»* [Russian Sklifosovsky Journal "Emergency Medical Care"]. 2020;9(4):573-579. (In Russian).
10. Шаповалов, В.М., Хоминец В.В., Михайлов С.В., Шакун Д.А., Капилевич Б.Я. Комбинированный способ восстановления длины бедра и голени при лечении больных с последствиями травм и дефектами развития. *Гений ортопедии.* 2010;(1):116-121.
Shapovalov V.M. Khominets S.V. Mikhailov S.V., Shakun D.A., Kapilevich B.Ya. [A combined technique of femur and leg length recovery in treatment of patients with trauma consequences and developmental defects]. *Genij ortopedii* [Orthopaedic Genius]. 2010;(1):116-121. (In Russian).
11. Cooperstein R. Leg checking: Why and why not? *DC Tracts.* 2012;24(2):4-11.
12. Woerman A.L., Binder-Macleod S.A. Leg length discrepancy assessment: accuracy and precision in five clinical methods of evaluation*. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1984;5(5):230-239. doi: 10.2519/jospt.1984.5.5.230.
13. Gogia P.P., Braatz J.H. Validity and reliability of leg length measurements. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1986;8(4):185-188. doi: 10.2519/jospt.1986.8.4.185.
14. Friberg O., Nurminen M., Korhonen K., Soininen E., Mänttari T. Accuracy and precision of clinical estimation of leg length inequality and lumbar scoliosis: comparison of clinical and radiological measurements. *Int Disabil Stud.* 1988;10(2):49-53. doi: 10.3109/09638288809164098.
15. Cleveland R.H., Kushner D.C., Ogden M.C., Herman T.E., Kermond W., Correia J.A. Determination of leg length discrepancy. A comparison of weight-bearing and supine imaging. *Invest Radiol.* 1988;23(4):301-304. doi: 10.1097/00004424-198804000-00010.
16. Beattie P., Isaacson K., Riddle D.L., Rothstein J.M. Validity of derived measurements of leg-length differences obtained by use of a tape measure. *Phys Ther.* 1990;70(3):150-157. doi: 10.1093/ptj/70.3.150.
17. Hoyle D.A., Latour M., Bohannon R.W. Intraexaminer, interexaminer, and interdevice comparability of leg length measurements obtained with measuring tape and metrecom. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1991;14(6):263-268. doi: 10.2519/jospt.1991.14.6.263.
18. Junk S., Terjesen T., Rossvoll I., Bråten M. Leg length inequality measured by ultrasound and clinical methods. *Eur J Radiol.* 1992;14(3):185-188. doi: 10.1016/0720-048x(92)90083-1.
19. Edeen J., Sharkey P.F., Alexander A.H. Clinical significance of leg-length inequality after total hip arthroplasty. *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 1995;24(4):347-351.
20. Krettek C., Koch T., Henzler D., Blauth M., Hoffmann R. [A new procedure for determining leg length and leg length inequality using ultrasound. II: Comparison of ultrasound, teleradiography and 2 clinical procedures in 50 patients]. *Unfallchirurg.* 1996;99(1):43-51. (In German).
21. Lampe H.I., Swierstra B.A., Diepstraten A.F. Measurement of limb length inequality. Comparison of clinical methods with orthoradiography in 190 children. *Acta Orthop Scand.* 1996;67(3):242-244. doi: 10.3109/17453679608994680.

22. Middleton-Duff T., George K., Batterham A. The reliability and validity of the 'Tape' and 'Block' methods for assessing anatomical leg-length discrepancy. *Phys Therapy Sport.* 2000;1(3):91-99. doi: 10.1054/PTSP.2000.0029.
23. Terry M.A., Winell J.J., Green D.W., Schneider R., Peterson M., Marx R.G. et al. Measurement variance in limb length discrepancy: clinical and radiographic assessment of interobserver and intraobserver variability. *J Pediatr Orthop.* 2005;25(2):197-201. doi: 10.1097/01.bpo.0000148496.97556.9f.
24. Harris I., Hatfield A., Walton J. Assessing leg length discrepancy after femoral fracture: clinical examination or computed tomography? *ANZ J Surg.* 2005;75(5):319-321. doi: 10.1111/j.1445-2197.2005.03349.x.
25. Sayed-Noor A.S., Hugo A., Sjöden G.O., Wretenberg P. Leg length discrepancy in total hip arthroplasty: comparison of two methods of measurement. *Int Orthop.* 2009;33(5):1189-1193. doi: 10.1007/s00264-008-0633-9.
26. Brêtas D.A., Nogueira J.V., Carneiro M.V., Souza R. Analysis of intra-examiner reliability of the tape method measure to leg length discrepancy. *Fitness Performance J.* 2009;8(5):335-341. doi: 10.3900/fpj.8.5.335.e.
27. Jamaluddin S., Sulaiman A.R., Imran M.K., Juhara H., Ezane M.A., Nordin S. Reliability and accuracy of the tape measurement method with a nearest reading of 5 mm in the assessment of leg length discrepancy. *Singapore Med J.* 2011;52(9):681-684.
28. Neelly K., Wallmann H.W., Backus C.J. Validity of measuring leg length with a tape measure compared to a computed tomography scan. *Physiother Theory Pract.* 2013;29(6):487-492. doi: 10.3109/09593985.2012.755589.
29. Badii M., Wade A.N., Collins D.R., Nicolaou S., Kobza B.J., Kopec J.A. Comparison of lifts versus tape measure in determining leg length discrepancy. *J Rheumatol.* 2014;41(8):1689-1694. doi: 10.3899/jrheum.131089.
30. Aguilar E.G., Domínguez Á.G., Peña-Algaba C., Castillo-López J.M. Distance Between the Malleoli and the Ground: A New Clinical Method to Measure Leg-Length Discrepancy. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2017;107(2):112-118. doi: 10.7547/15-013.
31. Betsch M., Michalik R., Graber M., Wild M., Krauspe R., Zilkens C. Influence of leg length inequalities on pelvis and spine in patients with total hip arthroplasty. *PLoS One.* 2019;14(8):e0221695. doi: 10.1371/journal.pone.0221695.
32. Батршин И.Т., Садовая Т.Н. Разновысокость нижних конечностей с перекосом таза и фронтальная деформация позвоночника. *Хирургия позвоночника.* 2007;(3):39-44.
Batrshyn I.T., Sadovaya T.N. [Lower limb length discrepancies with pelvic tilt and coronal deformity of the spine]. *Khirurgiya pozvonochnika* [Spine Surgery]. 2007;(3):39-44. (In Russian).
33. Aspegren D.D., Cox J.M., Trier K.K. Short leg correction: a clinical trial of radiographic vs. non-radiographic procedures. *J Manipulative Physiol Ther.* 1987;10(5):232-238.
34. Piyakunmala K., Sangkomkamhang T. Measurement of patient's perception on limb-length discrepancy compared with weight-bearing orthoroentgenography in total hip arthroplasty: a prospective study. *J Arthroplasty.* 2018;33(7):2301-2305. doi: 10.1016/j.arth.2018.02.024.
35. Hanada E., Kirby R.L., Mitchell M., Swuste J.M. Measuring leg-length discrepancy by the «iliac crest palpation and book correction» method: reliability and validity. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82(7):938-942. doi: 10.1053/apmr.2001.22622.
36. Cooperstein R. The Derifield pelvic leg check: a kinesiological interpretation. *Chir Tech.* 1991;3(2):60-65.
37. DeBoer K.F., Harmon R.O. Jr, Savoie S., Tuttle C.D. Inter- and intra-examiner reliability of leg-length differential measurement: a preliminary study. *J Manipulative Physiol Ther.* 1983;6(2):61-66.
38. Shambaugh P., Sclafani L., Fanselow D. Reliability of the Derifield-Thompson test for leg length inequality, and use of the test to demonstrate cervical adjusting efficacy. *J Manipulative Physiol Ther.* 1988;11(5):396-399.
39. Rhodes D.W., Mansfield E.R., Bishop P.A., Smith J.F. The validity of the prone leg check as an estimate of standing leg length inequality measured by X-ray. *J Manipulative Physiol Ther.* 1995;18(6):343-346.
40. Rhodes D.W., Mansfield E.R., Bishop P.A., Smith J.F. Comparison of leg length inequality measurement methods as estimators of the femur head height difference on standing X-ray. *J Manipulative Physiol Ther.* 1995;18(7):448-452.
41. Nguyen H.T., Resnick D.N., Caldwell S.G., Elston E.W. Jr, Bishop B.B., Steinhouser J.B. et al. Interexaminer reliability of activator methods' relative leg-length evaluation in the prone extended position. *J Manipulative Physiol Ther.* 1999;22(9):565-569. doi: 10.1016/s0161-4754(99)70015-1.
42. Cooperstein R., Morschhauser E., Lisi A.J., Nick T.G. Validity of compressive leg checking in measuring artificial leg-length inequality. *J Manipulative Physiol Ther.* 2003;26(9):557-566. doi: 10.1016/j.jmpt.2003.08.002.
43. Cooperstein R., Morschhauser E., Lisi A.J. Cross-sectional validity study of compressive leg checking in measuring artificially created leg length inequality. *J Chiropr Med.* 2004;3(3):91-95. doi: 10.1016/S0899-3467(07)60092-5.
44. Schneider M., Homonai R., Moreland B., Delitto A. Interexaminer reliability of the prone leg length analysis procedure. *J Manipulative Physiol Ther.* 2007;30(7):514-521. doi: 10.1016/j.jmpt.2007.07.001.
45. Holt K.R., Russell D.G., Hoffmann N.J., Bruce B.I., Bushell P.M., Taylor H.H. Interexaminer reliability of a leg length analysis procedure among novice and experienced practitioners. *J Manipulative Physiol Ther.* 2009;32(3):216-222. doi: 10.1016/j.jmpt.2009.02.009.
46. Schwartzbauer M., Hart J. Inter-Examiner Reliability of Leg Length Inequality Assessments. *Ann Vertebral Subluxation Res.* 2011. July 11. P. 51-56. Available from: <https://getgreaterlifechiropractic.com/wp-content/uploads/2017/10/Inter-Examiner-Reliability-of-Leg-Length-Inequality-Assessments-1.pdf>
47. Woodfield H.C., Gerstman B.B., Olaisen R.H., Johnson D.F. Interexaminer reliability of supine leg checks for discriminating leg-length inequality. *J Manipulative Physiol Ther.* 2011;34(4):239-246. doi: 10.1016/j.jmpt.2011.04.009.
48. Cooperstein R., Lucente M. Comparison of Supine and Prone Methods of Leg Length Inequality Assessment. *J Chiropr Med.* 2017;16(2):103-110. doi: 10.1016/j.jcm.2017.01.001.
49. Cooperstein R., Holzworth M., O'Brien A. Intra- and interexaminer reliability of compressive leg checking and correlation with the sit-stand test for anatomic leg length inequality. *Chir J Australia.* 2017;45(2):1184-1195.

50. Cooperstein R., Haneline M., Young M. Mathematical modeling of the so-called Allis test: a field study in orthopedic confusion. *Chiropr Osteopat.* 2007;15:3. doi: 10.1186/1746-1340-15-3.
51. Farella M., Michelotti A., Pellegrino G., Giani U., Martina R. Interexaminer reliability and validity for diagnosis of temporomandibular disorders of visual leg measurements used in dental kinesiology. *J Orofac Pain.* 2005;19(4):285-290.
52. Khakharia S., Bigman D., Fragomen A.T., Pavlov H., Rozbruch S.R. Comparison of PACS and hard-copy 51-inch radiographs for measuring leg length and deformity. *Clin Orthop Relat Res.* 2011;469(1):244-250. doi: 10.1007/s11999-010-1460-z.
53. Kjellberg M., Al-Amiry B., Englund E., Sjöden G.O., Sayed-Noor A.S. Measurement of leg length discrepancy after total hip arthroplasty. The reliability of a plain radiographic method compared to CT-scanogram. *Skeletal Radiol.* 2012;41(2):187-191. doi: 10.1007/s00256-011-1166-7.
54. Meermans G., Malik A., Witt J., Haddad F. Preoperative radiographic assessment of limb-length discrepancy in total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2011;469(6):1677-1682. doi: 10.1007/s11999-010-1588-x.
55. Tipton S.C., Sutherland J.K., Schwarzkopf R. The Assessment of Limb Length Discrepancy Before Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2016;31(4):888-892. doi: 10.1016/j.arth.2015.10.026.
56. Heaver C., St Mart J.P., Nightingale P., Sinha A., Davis E.T. Measuring limb length discrepancy using pelvic radiographs: the most reproducible method. *Hip Int.* 2013;23(4):391-394. doi: 10.5301/hipint.5000042.
57. Guggenberger R., Pfirrmann C.W., Koch P.P., Buck F.M. Assessment of lower limb length and alignment by biplanar linear radiography: comparison with supine CT and upright full-length radiography. *AJR Am J Roentgenol.* 2014;202(2):W161-167. doi: 10.2214/AJR.13.10782.
58. Reina-Bueno M., Lafuente-Sotillos G., Castillo-Lopez J.M., Gomez-Aguilar E., Munuera-Martinez P.V. Radiographic Assessment of Lower-Limb Discrepancy. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2017;107(5):393-398. doi: 10.7547/15-204.
59. Sabharwal S., Zhao C., McKeon J., Melaghari T., Blacksin M., Wenekor C. Reliability analysis for radiographic measurement of limb length discrepancy: full-length standing anteroposterior radiograph versus scanogram. *J Pediatr Orthop.* 2007;27(1):46-50. doi: 10.1097/01.bpo.0000242444.26929.9f.
60. Sabharwal S., Zhao C., McKeon J.J., McClemens E., Edgar M., Behrens F. Computed radiographic measurement of limb-length discrepancy. Full-length standing anteroposterior radiograph compared with scanogram. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88(10):2243-2251. doi: 10.2106/JBJS.E.01179.
61. Ahrend M.D., Rühle M., Springer F., Baumgartner H. Distance from the magnification device contributes to differences in lower leg length measured in patients with TSF correction. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2022;142(7):1511-1522. doi: 10.1007/s00402-021-03831-1.
62. Escott B.G., Ravi B., Weathermon A.C., Acharya J., Gordon C.L., Babyn P.S. et al. EOS low-dose radiography: a reliable and accurate upright assessment of lower-limb lengths. *J Bone Joint Surg Am.* 2013;95(23):e1831-1837. doi: 10.2106/JBJS.L.00989.
63. Melhem E., Assi A., El Rachkidi R., Ghanem I. EOS® biplanar X-ray imaging: concept, developments, benefits, and limitations. *J Child Orthop.* 2016;10(1):1-14. doi: 10.1007/s11832-016-0713-0.
64. Clavé A., Maurer D.G., Nagra N.S., Fazilleau F., Lefèvre C., Stindel E. Reproducibility of length measurements of the lower limb by using EOS™. *Musculoskelet Surg.* 2018;102(2):165-171. doi: 10.1007/s12306-017-0518-4.
65. Jensen J., Mussmann B.R., Hjarbæk J., Al-Aubaidi Z., Pedersen N.W., Gerke O. et al. Microdose acquisition in adolescent leg length discrepancy using a low-dose biplane imaging system. *Acta Radiol.* 2017;58(9):1108-1114. doi: 10.1177/0284185116682381.
66. Lazennec J.Y., Brusson A., Rousseau M.A., Robbins C.B., Pour A.E. Do Patients' Perceptions of Leg Length Correlate With Standing 2- and 3-Dimensional Radiographic Imaging? *J Arthroplasty.* 2016;31(10):2308-2313. doi: 10.1016/j.arth.2016.03.065.
67. Poutawera V., Stott N.S. The reliability of computed tomography scanograms in the measurement of limb length discrepancy. *J Pediatr Orthop B.* 2010;19(1):42-46. doi: 10.1097/BPB.0b013e32833390b4.
68. Rannisto S., Paalanne N., Rannisto P.H., Haapanen A., Oksaaja S., Uitti J. et al. Measurement of leg-length discrepancy using laser-based ultrasound method. *Acta Radiol.* 2011;52(10):1143-1146. doi: 10.1258/ar.2011.110268.
69. Konermann W., Gruber G. [Ultrasound determination of leg length]. *Orthopade.* 2002;31(3):300-305. (In German). doi: 10.1007/s00132-001-0298-1.
70. Riad J., Finnbogason T., Broström E. Leg length discrepancy in spastic hemiplegic cerebral palsy: a magnetic resonance imaging study. *J Pediatr Orthop.* 2010;30(8):846-850. doi: 10.1097/BPO.0b013e3181fc35dd.
71. Auerbach B.M., Ruff C.B. Limb bone bilateral asymmetry: variability and commonality among modern humans. *J Hum Evol.* 2006;50(2):203-218. doi: 10.1016/j.jhevol.2005.09.004.

Сведения об авторах

✉ Петрова Дарья Александровна

Адрес: Россия, 196603, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, ул. Парковая, д. 64-68

<https://orcid.org/0000-0001-9641-191X>

e-mail: radd.arr@mail.ru

Кенис Владимир Маркович — д-р мед. наук

<https://orcid.org/0000-0002-7651-8485>

e-mail: kenis@mail.ru

Authors' information

✉ Daria A. Petrova

Address: 64-68, Parkovaya str., St. Petersburg, Pushkin, 196603, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-9641-191X>

e-mail: radd.arr@mail.ru

Vladimir M. Kenis — Dr. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-7651-8485>

e-mail: kenis@mail.ru