

ФУНКЦИЯ ПОДЛОПАТОЧНОЙ МЫШЦЫ ПРИ РЕВЕРСИВНОМ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИИ ПЛЕЧЕВОГО СУСТАВА

Суюнов Р.А.*¹, Айрапетов Г.А.², Джоджуа А.В.³, Карпович Н.И.², Закирова А.Р.²

DOI: 10.25881/20728255_2025_20_1_109

¹ ГБУЗ СК «Городская клиническая больница, Пятигорск

² ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», Москва

³ ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова», Москва

Резюме. Хотя, в настоящее время, реверсивное эндопротезирование плечевого сустава является достаточно распространённой операцией, до сих пор продолжают обсуждаться различные аспекты биомеханики реверсивного эндопротеза. В частности, нет единого мнения о роли и функции подлопаточной мышцы. Было выполнено несколько клинических и биомеханических исследований, посвященных ее влиянию на стабильность сустава и объем движений. Полученные результаты были противоречивыми. Часть авторов указывает, что подлопаточная мышца улучшает стабильность сустава, но может ограничивать объем движений в нем. Другие авторы не выявили связи между восстановлением крепления подлопаточной мышцы, количеством вывихов и объемом движений. В данной статье представлен обзор медицинских исследований, посвященных изучению функции подлопаточной мышцы после реверсивного эндопротезирования плечевого сустава.

Ключевые слова: подлопаточная мышца, объем движений, вывих эндопротеза, реверсивное эндопротезирование плечевого сустава.

Введение

Реверсивное эндопротезирование плечевого сустава (РЭПС) стало распространенным хирургическим вмешательством на плечевом суставе, с каждым годом его выполняют все чаще, поэтому более глубокое изучение биомеханики этого эндопротеза является важной задачей.

Основной акцент сделан на изучении информации о роли подлопаточной мышцы в реверсивном эндопротезировании плечевого сустава.

В нормальном плечевом суставе подлопаточная мышца функционирует как абдуктор и внутренний ротатор. Роль подлопаточной мышцы при анатомическом тотальном эндопротезировании плечевого сустава изучена достаточно хорошо. Повреждение области крепления подлопаточной мышцы после имплантации анатомического эндопротеза сопровождается передней нестабильностью сустава, уменьшением объема движений, снижением мышечной силы и функциональных результатов. Поэтому большое количество исследований посвящено разработке щадящих способов отсечения и рефиксации подлопаточной мышцы [1–10], хотя в настоящее время считается, что способ отсечения подлопаточной мышцы не оказывает влияния на клинические результаты пациентов [8].

SUBSCAPULARIS MUSCLE FUNCTION IN REVERSE SHOULDER ARTHROPLASTY

Suyunov R.A.*¹, Airapetov G.A.², Dzhodzhuia A.V.³, Karpovich N.I.², Zakirova A.R.²

¹ Pyatigorsk City Clinical Hospital, Pyatigorsk

² Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow

³ Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow

Abstract. Reverse shoulder arthroplasty is currently a common operation, despite this, debates continue about various aspects of the biomechanics of reverse endoprosthesis. In particular, there is no consensus in the medical literature about the function of the subscapularis muscle. Several clinical and biomechanical studies have been conducted to analyze its role in joint stability and influence on range of motion. Some results suggest that the subscapularis muscle improves joint stability but may limit joint range of motion.

Keywords: subscapularis muscle, range of motion, endoprosthesis dislocation, reverse shoulder arthroplasty.

Согласно результатам анатомических исследований Collin и соавт. в подлопаточной мышце можно выделить верхнюю и нижнюю порции. Авторы пришли к выводу, что они функционируют аналогично с подостной и малой круглой мышцами [15; 16]. Верхняя порция подлопаточной мышцы, расположенная выше центра ротации, помимо основной функции внутренней ротации, также выступала в роли абдуктора при подъеме руки, нижняя часть постоянно функционировала как аддуктор.

Разработанный P. Grammont реверсивный эндопротез изменил подход к хирургическому лечению тяжелой патологии плечевого сустава. Медиализация и низведение центра ротации головки плечевой кости модифицировали функцию мышц вращательной манжеты, особенно подлопаточной и малой круглой мышц. Это подтверждается данными, полученными в работе Collin, согласно которым, после установки реверсивного эндопротеза, верхняя часть подлопаточной мышцы начинает функционировать иначе.

Изучение биомеханики и функции подлопаточной мышцы после реверсивного эндопротезирования, а также влияния ее рефиксации на объем движений и формирование потенциальных осложнений позволит сформулировать единый подход к работе с ней при реверсивном эндопротезировании плечевого сустава.

* e-mail: renat.suyunov@mail.ru

Методы

Был выполнен поиск медицинских статей в базе данных Pubmed по запросам «реверсивное эндопротезирование», «рефиксация подлопаточной мышцы», «подлопаточная мышца», «вывих реверсивного эндопротеза плечевого сустава», «стандартный дельтопекторальный доступ». В обзор были включены статьи, опубликованные в период с 2000 по 2023 гг. Исследования, включенные в обзор, имели уровень доказательности от I до IV. Для написания обзора использовали статьи, посвященные изучению роли подлопаточной мышцы в реверсивном эндопротезировании плечевого сустава. Статистический анализ данных не проводился.

Результаты

Биомеханика подлопаточной мышцы после реверсивного эндопротезирования плечевого сустава

Ackland и соавт. были первыми, кто провел кадаверное исследование изменений биомеханики и мышечной силы вращательной манжеты после РЭПС [17; 21]. Авторы имплантировали реверсивный эндопротез Zimmer (Warsaw, Indiana) на 8 кадаверных препаратах. Подлопаточная мышца является мощным внутренним ротатором, причем сила внутренней ротации возрастает при отведении в плечевом суставе, также она участвует в сгибании, отведении и приведении плечевой кости. В нормальном плечевом суставе верхняя порция мышцы расположена выше центра ротации и функционирует как абдуктор, тогда как ее нижняя порция выполняет роль аддуктора. После имплантации реверсивного эндопротеза и смещения центра ротации медиально и дистально, верхняя порция подлопаточной мышцы также начинает функционировать как аддуктор, также подлопаточная мышца сохраняет свое участие в разгибании, отведении и приведении при разных положениях плеча (Рис. 1).

В ходе этого исследования авторы показали, что при тотальном отсутствии подлопаточной мышцы, ее функцию компенсируют большая круглая, большая грудная и широчайшая мышца спины.

Влияние целостности подлопаточного сухожилия на мышечную силу после РЭПС изучал Hansen и соавт. Авторы также провели кадаверное исследование на 8 препаратах. В 4 плечевые сустава был установлен эндопротез Delta III (DePuy) и выполнено восстановление крепления подлопаточного сухожилия, в другие 4 сустава был имплантирован реверсивный эндопротез Equinox (Exatech), рефиксация подлопаточного сухожилия не проводилась. В отличие от эндопротезов типа Grammont, дизайн эндопротеза Equinox RSA имеет увеличенный латеральный оффсет диафиза плечевой кости и еще больше низводит центр ротации сустава за счет низкого расположения гленоидного компонента. Латерализованные типы реверсивных эндопротезов имеют меньшую тенденцию к вывиху по сравнению с эндопротезами типа Grammont, поэтому авторы не выполняли рефикацию сухожилия подлопаточной мышцы во второй группе препаратов. Оба

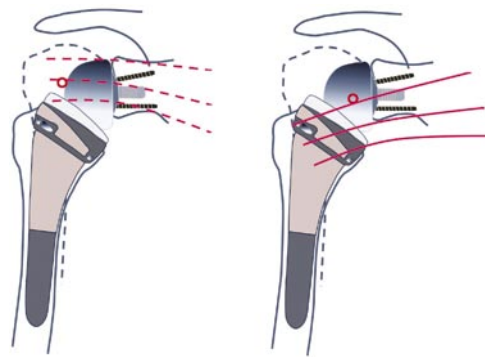


Рис. 1. Положение и биомеханика подлопаточной мышцы после установки реверсивного эндопротеза типа Grammont.

типа эндопротеза за счет дистализации центра ротации изменяли биомеханику подлопаточной мышцы, обе ее порции начинали функционировать как аддукторы. Авторы отметили, что это вызвало значительные изменения в мышечной силе необходимой для отведения конечности в обеих группах, ее величина значительно возросла.

Oh и соавт. исследовали функцию подлопаточной мышцы при разных углах (135° , 145° , 155°) наклона шейки эндопротеза Aequalis (Wright/Tornier) [19]. Авторы пришли к выводу, что при рефиксации подлопаточного сухожилия, сила, необходимая для вывиха эндопротеза значительно увеличивается. Конструкция эндопротеза с углом наклона шейки 155° продемонстрировала наибольшую стабильность при внутренней ротации и в нейтральном положении сустава. Наибольший вклад подлопаточной мышцы в стабилизацию плечевого сустава был отмечен для эндопротезов с углом наклона шейки 135° . Согласно данным Oh, восстановление крепления подлопаточной мышцы увеличивает стабильность эндопротеза для всех углов наклона шейки, хотя, в целом, эти силы были сопоставимы с таковыми у препаратов, где рефиксация не проводилась. Авторы рекомендовали выполнять рефиксацию подлопаточной мышцы для всех типов эндопротезов с углом наклона шейки 135° .

Pastor и соавт. подтвердили результаты Oh в кадаверном исследовании стабильности эндопротеза Delta Xtend (DePuy Synthes) [22]. По их данным, сила, необходимая для вывиха эндопротеза, значительно возросла при целостной вращательной манжете и большем диаметре гленосферы. При изолированном отсечении подлопаточной мышцы, средняя величина силы, приводящей к вывиху сустава, снижалась на 18%.

Только в одном исследовании были отмечены возможные негативные последствия восстановления подлопаточной мышцы после РЭПС. Gulotta в кадаверном исследовании биомеханических свойств реверсивного эндопротеза отметил, что рефиксация подлопаточной мышцы может приводить к снижению объема наружной ротации в суставе [24].

Таким образом, согласно данным, приведенным в биомеханических исследованиях, после реверсивного

эндопротезирования подлопаточная мышца функционирует как аддуктор и внутренний ротатор, а также потенциально может ограничивать объем наружной ротации. Рефиксация подлопаточной мышцы позволяет увеличить стабильность сустава, особенно для эндопротезов с углом наклона шейки 135°. Дизайн эндопротеза значительно влияет на функцию подлопаточной мышцы. Большой размер гленоидного компонента и большой угол наклона шейки плечевого компонента увеличивают оффсет диафиза плечевой кости и, соответственно, натяжение подлопаточной мышцы. Таким образом увеличиваются стабильность и сила внутренней ротации. Однако, избыточное натяжение подлопаточной мышцы может вызывать ограничение и ослабление наружной ротации.

Подлопаточная мышца и осложнения реверсивного эндопротезирования плечевого сустава

Наиболее распространённым осложнением РЭПС является вывих эндопротеза. Для имплантации реверсивного эндопротеза используют два основных доступа: трансдельтовидный (верхнелатеральный) и дельтопекторальный. Трансдельтовидный доступ сохраняет целостность крепления сухожилия подлопаточной мышцы, но может негативно влиять на функцию переднего отдела дельтовидной мышцы за счет прямого повреждения его крепления или повреждения подмышечного нерва. При дельтопекторальном доступе выполняют отсечение сухожилия подлопаточной мышцы с помощью различных методик. В отличие от анатомического эндопротезирования, остеотомия малого бугорка при реверсивном эндопротезировании практически не используются, поскольку область анатомического крепления малого бугорка может быть повреждена при разработке метафизарной части плечевой кости. В большинстве случаев при РЭПС выполняют тенотомию или отсечение подлопаточного сухожилия от кости.

Zumstein и соавт., изучая осложнения реверсивного эндопротезирования, подтвердили, что наиболее частым осложнением является вывих эндопротеза, его частота составила 8,6% [29].

Роль подлопаточной мышцы в формировании этого осложнения остается одной из наиболее обсуждаемых тем в медицинской литературе.

Padegimas и соавт. ретроспективно изучив результаты 510 пациентов после РЭПС, включили недостаточность функции подлопаточной мышцы в перечень факторов риска вывиха эндопротеза [34]. К другим факторами риска авторы отнесли мужской пол, повышенный индекс массы тела и ревизионный характер операции. В аналогичным результатам пришли Chalmes и Edwards, оба автора заключили, что нарушение функции подлопаточной мышцы в результате повреждения области фиксации или при отсутствии ее рефиксации является фактором риска вывиха эндопротеза [33; 37].

На фоне этих результатов появились работы, в которых авторы разрабатывали способы имплантации

эндопротеза с минимальным или без отсечения подлопаточной мышцы. В исследовании Ladermann и соавт. описан способ имплантации реверсивного эндопротеза через дельтопекторальный доступ без отсечения подлопаточного сухожилия. Авторы устанавливали компоненты эндопротеза через дефект сухожилия надостной мышцы, краниально от подлопаточной мышцы [30]. Через 2 года у всех пациентов были получены отличные результаты. Преимуществом техники авторы указали отсутствие необходимости широкого релиза мягких тканей, иммобилизации сустава и возможность выполнения полного объема движений в плечевом суставе сразу после эндопротезирования.

Chae и Chalmers не выявили достоверной разницы в результатах пациентов после различных модификаций хирургических доступов к плечевому суставу, но отметили, что доступы с неполным отсечением подлопаточной мышцы ухудшают обзор нижних отделов сустава, что может приводить к неполному удалению остеофитов, импинджменту и вывиху эндопротеза [32].

Zumstein отметил, что восстановление целостности вращательной манжеты оказывает тампонадный эффект и может снижать объем кровопотери. Восстановление крепления подлопаточной мышцы уменьшает объем пустого пространства в переднем отделе сустава и объем послеоперационной гематомы, а также снижает риск инфекционных осложнений, поскольку скопление жидкости в суставе может стать очагом развития инфекции. Стоит отметить, что клинических исследований по этой теме не проводилось [29].

Избыточное растяжение дельтовидной мышцы при реверсивном эндопротезировании сопровождается повышенным риском переломов акромиального отростка лопатки. Восстановление крепления подлопаточной мышцы, особенно выше центра ротации сустава (если позволяет дизайн эндопротеза), может способствовать ее антагонистической функции относительно дельтовидной мышцы и снижать натяжение мягких тканей в области акромиона. С другой стороны, рефиксация подлопаточной мышцы приводит к увеличению силы, необходимой для отведения, что также может привести к перелому акромиона. Эти гипотезы основаны на компьютерной модели и нуждаются в клиническом подтверждении [10; 38].

Влияние рефиксации подлопаточной мышцы на клинические результаты РЭПС

Результаты исследований, посвященных изучению влияния подлопаточной мышцы на функциональные и клинические результаты РЭПС крайне противоречивы. В части исследований продемонстрированы более высокие результаты РЭПС после рефиксации или неполного отсечения подлопаточной мышцы [34; 37], тогда как в других исследованиях авторы не описывают разницы в показателях и предлагают не восстанавливать крепление подлопаточной мышцы [41–43]. При этом большинство

авторов сходятся во мнении, что восстановление крепления подлопаточной мышцы сопровождается лучшими показателями внутренней ротации в суставе, что имеет значение в повседневной деятельности пациентов [24; 39; 40].

Объем движений в плечевом суставе

Wall и соавт. в своей серии наблюдений за результатами 191 пациента после РЭПС, пришли к выводу, что восстановление крепления подлопаточной мышцы сопровождается лучшими показателями внутренней ротации для эндопротезов Delta III (DePuy) и Aequalis (Wright/Tornier) [39].

Friedman и соавт. отметили, что в группе пациентов, которым восстанавливали крепление подлопаточного сухожилия после РЭПС был получен больший объем движений в плечевом суставе, при сравнении с группой пациентов, которым рефиксация не проводилась [24]. Различия, полученные в исследовании были статистически значимы. Наибольшие различия были выявлены для внутренней ротации. В послеоперационном периоде величина внутренней ротации в группе после рефиксации составила $5,1 \pm 1,3$ балла, в группе без фиксации подлопаточной это значение составило $4,4 \pm 1,6$ балла ($p < 0,0001$). При этом в группе, где рефиксация не проводилась, были получены лучшие значения угла отведения (119° против 107° , соответственно, $p < 0,0001$) и пассивной наружной ротации (50° против 45° , соответственно, $p < 0,0001$), что соотносится с результатами биомеханических исследований.

Voileau и соавт. не обнаружили влияния восстановления крепления подлопаточной мышцы на функцию и объем движений у пациентов при имплантации эндопротеза Delta III (DePuy) [44]. Для большего воссоздания нормальной биомеханики в суставе авторы устанавливали головку плечевого компонента в ретроверсии 20° и 30° .

К похожим выводам в своих работах пришли Clark и Vourazeris [41, 45]. Clark отметил, что у пациентов после рефиксации подлопаточного сухожилия был отмечен больший объем переднего сгибания (112° против 94° , соответственно, $p < 0,001$), по остальным параметрам автор не обнаружил различий между группами. Vourazeris сравнил результаты 202 пациентов через 3 года после РЭПС эндопротезом Equinox (Exactech) с рефиксацией подлопаточной мышцы и без нее. Автор не выявил отличий между группами в объеме движений, функции сустава, мышечной силе, а также в количестве осложнений (включая вывихи).

Werner и соавт. оценили результаты пациентов, которым было выполнено РЭПС при остеоартрозе плечевого сустава реверсивным эндопротезом Biomet (Zimmer Biomet) [43]. В исследовании приняли участие 109 пациентов, период наблюдения составил 2 года. Авторы поделили пациентов на группы в зависимости от наличия или отсутствия рефиксации подлопаточной мышцы, а также в зависимости от типа установленной гленосферы:

стандартной или латерализованной. Пациенты, которым была выполнена установка латерализованной гленосферы в сочетании с рефиксацией подлопаточной мышцы продемонстрировали более худшие показатели по шкале ASES, чем пациенты с рефиксированным сухожилием и стандартной гленосферой. Пациенты, которым была установлена стандартная гленосфера, продемонстрировали одинаковые клинические результаты вне зависимости от наличия или отсутствия восстановления крепления сухожилия подлопаточной.

Таким образом, согласно результатам представленных исследований, восстановление крепления подлопаточной мышцы может улучшать величину внутренней ротации, в то время как отсутствие рефиксации способствует увеличению наружной ротации. Аналогичные результаты были приведены в исследованиях, посвященных биомеханике РЭПС.

Стабильность плечевого сустава

Edwards и соавт. в своем исследовании продемонстрировали, что риск вывиха эндопротеза удваивается при наличии невосстановимого повреждения подлопаточной мышцы ($p = 0,013$) [37]. Авторы использовали эндопротез Aequalis (Tornier Inc.), который имеет медиализированный центр ротации и относится к типу Grammont.

Trappey и соавт. опубликовали похожие результаты [47]. У пациентов, которым не было выполнено восстановление крепления подлопаточной мышцы, частота вывихов составила 12% (14/123), в то время как среди 161 пациента, которым была выполнена рефиксация, вывих произошел в 1 случае. Согласно заключению авторов, пациенты которым РЭПС было выполнено по поводу последствий переломов проксимального отдела плечевой кости имели наибольший риск вывиха, далее следовали пациенты с невосстановимым повреждением вращательной манжеты и псевдопараличом плечевого сустава.

Friedman не получил достоверных различий в частоте вывихов после РЭПС в зависимости от наличия или отсутствия рефиксации подлопаточной мышцы (0,5%) [24]. Автор использовал эндопротез Equinox (Exactech) с латерализованным плечевым компонентом и медиализированным гленоидом. Автор заключил, что дизайн этого эндопротеза позволяет не рефиксировать сухожилие подлопаточной мышцы для большей стабильности сустава. Латерализация плечевого компонента увеличивает натяжение дельтовидной мышцы и мышц вращательной манжеты, при этом компрессионные силы в суставе возрастают и улучшается стабильность эндопротеза.

Clark и соавт. также не выявил достоверных различий в частоте вывихов эндопротеза у групп пациентов с рефиксированным подлопаточным сухожилием и без него [41]. Автор не отметил различий в уровне боли, объеме движений в зависимости от рефиксации. В исследовании участвовало 111 пациентов (120 РЭПС), всем пациентам был установлен эндопротез RSP (DonJoy) с

углом наклона шейки 135°. Частота вывихов составила 9%, достоверной разницы по количеству вывихов между группами получено не было.

Grassi и соавт. описали результаты 15 пациентов пожилого возраста, которым выполняли РЭПС и резекцию подлопаточной мышцы после многофрагментарных переломов проксимального отдела плечевой кости. Во всех случаях авторы устанавливали плечевой компонент в 20° ретроверсии для компенсации функции резецированной подлопаточной мышцы. Выбранная ретроверсия позволяла увеличить объем наружной ротации и увеличивала натяжение мягких тканей в переднем отделе сустава, что улучшало стабильность эндопротеза. Вывихов сустава в этой серии наблюдений получено не было. Авторы пришли к выводу, что рефиксация подлопаточной мышцы не является критическим фактором в предотвращении вывиха эндопротеза [42]. Тем не менее, выборка пациентов в этом исследовании достаточно мала и специфична, чтобы экстраполировать его результаты на популяцию.

Gallo и соавт. в серии наблюдений результатов РЭПС также не выявили значимых отличий в частоте вывихов в зависимости от восстановления крепления подлопаточной мышцы [48]. Автор использовал эндопротезы Delta III (DePuy) и Encore (Encore Medical). Из 57 пациентов исследования, вывихи произошли в 9 случаях. У 4 из этих пациентов была выявлена сопутствующая периимплантная инфекция. У 5 пациентов причиной вывиха стало неправильное позиционирование компонентов или недостаточное натяжение дельтовидной мышцы. Восстановление крепления подлопаточной мышцы не оказывало влияния на частоту вывихов эндопротеза.

К ограничениям, затрудняющим сравнение результатов приведенных исследований, относятся небольшие размеры выборок, разные дизайны эндопротезов, разные протоколы реабилитации, различные критерии включения и исключения из исследования. Несовпадения между исследованиями при оценке роли подлопаточной мышцы в стабильности сустава, могут быть связаны с наличием других факторов, влияющих на вероятность вывиха, и не указанных в тексте статей. Например, техника установки эндопротеза, размер гленосферы, угол наклона шейки эндопротеза упоминаются не во всех исследованиях. Тем не менее, согласно заключениям большинства авторов, есть основания полагать, что правильное позиционирование компонентов и адекватное натяжение мягких тканей оказывают большее влияние на стабильность сустава, чем восстановление целостности сухожилия подлопаточной мышцы при РЭПС.

Обсуждение

В современных исследованиях до сих пор не представлено четких рекомендаций о тактике работы с подлопаточной мышцей при реверсивном эндопротезировании плечевого сустава. В связи с разнообразием факторов, влияющих на клинический результат РЭПС, а также различными дизайнами исследований и недостаточным

количеством долгосрочных результатов, еще не получено достаточного количества данных, позволяющих сформулировать единые рекомендации.

Что касается объема движений в плечевом суставе, восстановление крепления подлопаточной мышцы может улучшать внутреннюю ротацию, но при этом возможно снижение объема наружной ротации. Влияние рефиксации подлопаточного сухожилия на стабильность сустава также остается предметом обсуждений. При этом в исследованиях прослеживаются схожие заключения о том, что рефиксация подлопаточной мышцы способствует снижению частоты вывихов при использовании медиализированных эндопротезов типа Grammont и не влияет на стабильность сустава при имплантации реверсивных эндопротезов с латерализованным центром ротации. При этом, правильное позиционирование имплантатов и адекватное натяжение мягких тканей оказывают большее влияние на стабильность реверсивного эндопротеза.

Тем не менее, целостность подлопаточной мышцы создает естественный барьер в переднем отделе сустава, восстановление ее крепления способствует уменьшению свободного пространства в суставе, уменьшению объема гематомы и, соответственно, снижает риск инфекционных осложнений. Также, сохранение объема мягких тканей в переднем отделе сустава имеет значение при выполнении ревизионного вмешательства.

Заключение

После имплантации реверсивного эндопротеза плечевого сустава, подлопаточная мышца вносит вклад в восстановление объема движений, особенно внутренней ротации, а также оказывает потенциальное влияние на стабильность сустава.

РЭПС с рефиксацией сухожилия подлопаточной мышцы или без него является эффективным и безопасным способом лечения широкого спектра патологий плечевого сустава, при этом точную роль подлопаточной мышцы в функционировании реверсивного эндопротеза еще предстоит определить. В связи с чем, актуальным направлением для исследований является изучение результатов имплантации реверсивного эндопротеза с сохранением анатомического крепления подлопаточной мышцы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов (The authors declare no conflict of interest).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Gerber C, Yian EH, Pfirrmann CA, Zumstein MA, Werner CM. Subscapularis muscle function and structure after total shoulder replacement with lesser tuberosity osteotomy and repair. *J Bone Joint Surg Am.* 2005; 87(8): 1739-1745.
2. Armstrong AD, Southam JD, Horne AH, Hollenbeak CS, Flemming DJ, Kothari MJ. Subscapularis function after total shoulder arthroplasty: electromyography, ultrasound, and clinical correlation. *J Shoulder Elbow Surg.* 2016; 25(10): 1674-1680.
3. Gobeze R, Denard PJ, Shishani Y, Romeo AA, Lederman E. Healing and functional outcome of a subscapularis peel repair with a stem-based repair after total shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg.* 2017; 26(9): 1603-1608.

4. Jackson JD, Cil A, Smith J, Steinmann SP. Integrity and function of the subscapularis after total shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg.* 2010; 9(7): 1085-1090.
5. Louie PK, Levy DM, Bach BR Jr, Nicholson GP, Romeo AA. Subscapularis tenotomy versus lesser tuberosity osteotomy for total shoulder arthroplasty: a systematic review. *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 2017; 46(2): E131-E138.
6. Miller SL, Hazrati Y, Klepps S, Chiang A, Flatow EL. Loss of subscapularis function after total shoulder replacement: a seldom recognized problem. *J Shoulder Elbow Surg.* 2003; 12(1): 29-34.
7. Moeckel BH, Altchek DW, Warren RF, Wickiewicz TL, Dines DM. Instability of the shoulder after arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 1993; 75(4): 492-497.
8. Sacevich N, Athwal GS, Lapner P. Subscapularis management in total shoulder arthroplasty. *J Hand Surg Am.* 2015; 40(5): 1009-1011.
9. Shields E, Ho A, Wiater JM. Management of the subscapularis tendon during total shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg.* 2017; 26(4): 723-731.
10. Bohsali KI, Bois AJ, Wirth MA. Complications of shoulder arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2017; 99(3): 256-269.
11. Kany J, Jose J, Katz D, et al. The main cause of instability after unconstrained shoulder prosthesis is soft tissue deficiency. *J Shoulder Elbow Surg.* 2017; 26(8): e243-e251.
12. Lapner PL, Sabri E, Rakhra K, Bell K, Athwal GS. Comparison of lesser tuberosity osteotomy to subscapularis peel in shoulder arthroplasty: a randomized controlled trial. *J Bone Joint Surg Am.* 2012; 94(24): 2239-2246.
13. Choate WS, Kwapisz A, Momaya AM, Hawkins RJ, Tokish JM. Outcomes for subscapularis management techniques in shoulder arthroplasty: a systematic review. *J Shoulder Elbow Surg.* 2018; 27(2): 363-370.
14. Grammont P, Trouilloud P, Laffay JP, Deries X. Etude et realisation d'une nouvelle prothese de 'paule. *Rheumatologie.* 1987; 39: 407-418.
15. Alexandre L, Stephen SB, Pierre H, et al. Classification of full-thickness rotator cuff lesions: a review. *EFORT Open Rev.* 2016; 1(12): 420-430.
16. Collin P, Leadermann A, Le Bourg M, Walch G. Subscapularis minor — an analogue of the Teres minor? *Orthop Traumatol Surg Res.* 2013; 99(4 S): S255-S258.
17. Ackland DC, Richardson M, Pandy MG. Axial rotation moment arms of the shoulder musculature after reverse total shoulder arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2012; 94(20): 1886-1895.
18. Hansen ML, Nayak A, Narayanan MS, et al. Role of subscapularis repair on muscle force requirements with reverse shoulder arthroplasty. *Bull Hosp Jt Dis.* 2015; 73(S1): S21-S27.
19. Oh JH, Shin SJ, McGarry MH, et al. Biomechanical effects of humeral neck-shaft angle and subscapularis integrity in reverse total shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg.* 2014; 23(8): 1091-1098.
20. Giles JW, Langohr GD, Johnson JA, Athwal GS. The rotator cuff muscles are antagonists after reverse total shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg.* 2016; 25(10): 1592-1600.
21. Ackland DC, Roshan-Zamir S, Richardson M, Pandy MG. Moment arms of the shoulder musculature after reverse total shoulder arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2010; 92(5): 1221-1230.
22. Pastor MF, Kraemer M, Wellmann M, Hurschler C, Smith T. Anterior stability of the reverse shoulder arthroplasty depending on implant configuration and rotator cuff condition. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016; 136(11): 1513-1519.
23. Ladermann A, Denard PJ, Boileau P, et al. What is the best glenoid configuration in onlay reverse shoulder arthroplasty? *Int Orthop.* 2018; 42: 1339-1346.
24. Friedman RJ, Flurin PH, Wright TW, Zuckerman JD, Roche CP. Comparison of reverse total shoulder arthroplasty outcomes with and without subscapularis repair. *J Shoulder Elbow Surg.* 2017; 26(4): 662-668.
25. Gulotta LV, Choi D, Marinello P, et al. Humeral component retroversion in reverse total shoulder arthroplasty: a biomechanical study. *J Shoulder Elbow Surg.* 2021; 21(9): 1121-1127.
26. Rhee YG, Cho NS, Moon SC. Effects of humeral component retroversion on functional outcomes in reverse total shoulder arthroplasty for cuff tear arthropathy. *J Shoulder Elbow Surg.* 2015; 24(10): 1574-1581.
27. Aleem AW, Feeley BT, Austin LS, et al. Effect of humeral component version on outcomes in reverse shoulder arthroplasty. *Orthopedics.* 2017; 40(3): 179-186.
28. Daniel M, Frank W, Charles D, Philippe V, Francois S. Surgical technique: the anterosuperior approach for reverse shoulder arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2011; 469(9): 2461-2468.
29. Zumstein MA, Pinedo M, Old J, Boileau P. Problems, complications, reoperations, and revisions in reverse total shoulder arthroplasty: a systematic review. *J Shoulder Elbow Surg.* 2011; 20(1): 146-157.
30. Ladermann A, Lo EY, Schwitzgube 'bel AJ, Yates E. Subscapularis and deltoid preserving anterior approach for reverse shoulder arthroplasty. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2016; 102(7): 905-908.
31. Ladermann A, Denard PJ, Tirefort J, et al. Subscapularis – and deltoid-sparing vs traditional deltopectoral approach in reverse shoulder arthroplasty: a prospective case-control study. *J Orthop Surg Res.* 2017; 12(1): 112.
32. Chae J, Siljander M, Wiater JM. Instability in reverse total shoulder arthroplasty. *J Am Acad Orthop Surg.* 2018; 26(17): 587-596.
33. Chalmers PN, Rahman Z, Romeo AA, Nicholson GP. Early dislocation after reverse total shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg.* 2014; 23(5): 737-744.
34. Padegimas EM, Zmistowski BM, Restrepo C, et al. Instability after reverse total shoulder arthroplasty: which patients dislocate? *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 2016; 45(7): E444-E450.
35. Kohan EM, Chalmers PN, Salazar D, Keener JD, Yamaguchi K, Chamberlain AM. Dislocation following reverse total shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg.* 2017; 26(7): 1238-1245.
36. Ladermann A, Denard PJ, Boileau P, et al. Effect of humeral stem design on humeral position and range of motion in reverse shoulder arthroplasty. *Int Orthop.* 2015; 39(11): 2205-2213.
37. Edwards TB, Williams MD, Labriola JE, et al. Subscapularis insufficiency and the risk of shoulder dislocation after reverse shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg.* 2009; 18(6): 892-896.
38. Alentorn-Geli E, Samitier G, Torrens C, Wright TW. Reverse shoulder arthroplasty. Part 2: systematic review of reoperations, revisions, problems, and complications. *Int J Shoulder Surg.* 2015; 9(2): 60-67.
39. Wall B, Noveck-Josserand L, O'Connor DP, Edwards TB, Walch G. Reverse total shoulder arthroplasty: a review of results according to etiology. *J Bone Joint Surg Am.* 2007; 89(7): 1476-1485.
40. Dedy NJ, Gouk CJ, Taylor FJ, Thomas M, Tan SLE. Sonographic assessment of the subscapularis after reverse shoulder arthroplasty: impact of tendon integrity on shoulder function. *J Shoulder Elbow Surg.* 2018; 26(17): 587-596.
41. Clark JC, Ritchie J, Song FS, et al. Complication rates, dislocation, pain, and postoperative range of motion after reverse shoulder arthroplasty in patients with and without repair of the subscapularis. *J Shoulder Elbow Surg.* 2012; 21(1): 36-41.
42. Grassi FA, Zorzolo I. Reverse shoulder arthroplasty without subscapularis repair for the treatment of proximal humeral fractures in the elderly. *Musculoskelet Surg.* 2014; 98(SI): 5-13.
43. Werner BC, Wong AC, Mahony GT, et al. Clinical outcomes after reverse shoulder arthroplasty with and without subscapularis repair: the importance of considering glenosphere lateralization. *J Am Acad Orthop Surg.* 2018; 26(5): e114-e119.
44. Boileau P, Watkinson D, Hatzidakis AM, Hovorka I. Neer Award 2005: The Grammont reverse shoulder prosthesis: results in cuff tear arthritis, fracture sequelae, and revision arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg.* 2006; 15(5): 527-540.
45. Vourazeris JD, Wright TW, Struk AM, King JJ, Farmer KW. Primary reverse total shoulder arthroplasty outcomes in patients with subscapularis repair versus tenotomy. *J Shoulder Elbow Surg.* 2017; 26(3): 450-457.
46. Boulahia A, Edwards TB, Walch G, Baratta RV. Early results of a reverse design prosthesis in the treatment of arthritis of the shoulder in elderly patients with a large rotator cuff tear. *Orthopedics.* 2002; 25(2): 129-133.
47. Trappey GJ 4th, O'Connor DP, Edwards TB. What are the instability and infection rates after reverse shoulder arthroplasty? *Clin Orthop Relat Res.* 2011; 469(9): 2505-2511.
48. Gallo RA, Gamradt SC, Mattern CJ, et al. Instability after reverse total shoulder replacement. *J Shoulder Elbow Surg.* 2011; 20(4): 584-590.