

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ ЗАПЯСТНОЙ СВЯЗКИ В ЛЕЧЕНИИ СИНДРОМА ЗАПЯСТНОГО КАНАЛА. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

ПАНКРАТОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ, ORCID: 0000-0002-6031-4824; к.м.н., доцент кафедры травматологии, ортопедии и экстремальной хирургии имени академика РАН А.Ф. Краснова ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, 443099, Россия, Самарская область, город Самара, проспект Карла Маркса, дом 165б, e-mail: pas76@mail.ru

КНЯЗЕВ НИКИТА АЛЕКСЕЕВИЧ, ORCID ID: 0000-0003-1770-965X; ассистент кафедры травматологии, ортопедии и экстремальной хирургии им. академика РАН А.Ф. Краснова ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, 443099, Россия, Самарская область, город Самара, проспект Карла Маркса, дом 165б, e-mail: n.knyazev.bass@gmail.com

КЛЮЧНИКОВ АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ, ORCID ID: 0009-0009-5320-5142; клинический ординатор кафедры травматологии, ортопедии и экстремальной хирургии им. академика РАН А.Ф. Краснова ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, 443099, Россия, Самарская область, город Самара, проспект Карла Маркса, дом 165б, e-mail: zif1111111@yandex.ru

ПОТАПОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ, ORCID ID: 0009-0000-4681-8199; студент Института клинической медицины, ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, 443099, Россия, Самарская область, город Самара, ул. Чапаевская, дом 89, e-mail: alex-p278@rambler.ru

ОПЕНЧЕНКО КРИСТИНА АНДРЕЕВНА, ORCID ID: 0009-0000-0287-6223; студент Института клинической медицины, ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, 443099, Россия, Самарская область, город Самара, ул. Чапаевская, дом 89, e-mail: openchenkokristina@yandex.ru

Реферат. Введение. Синдром запястного канала — сдавление срединного нерва в области запястья, часто встречающаяся в медицинской практике компрессионная невропатия верхних конечностей. Наиболее эффективным считают хирургическое лечение заболевания, в ходе которого применяют либо самый распространённый способ с рассечением поперечной запястной связки без последующего сшивания, либо способ с её реконструкцией. Изучение результативности вариантов реконструкции поперечной запястной связки помогает в поиске возможностей совершенствования лечения. **Цель исследования** — на основе анализа российских и зарубежных литературных источников, содержащих информацию о ближайших и отдалённых результатах лечения пациентов с синдромом запястного канала хирургическим способом с применением реконструкции поперечной запястной связки, сравнить эффективность и безопасность различных оперативных техник. **Материалы и методы.** Научные публикации по теме за 2013-2023 годы. **Результаты и обсуждения.** Определили, что реконструкция поперечной запястной связки способствует не только увеличению объёма запястного канала, но и нормализации биомеханики движений кисти после. **Заключение.** В настоящее время однозначные данные о значительных преимуществах применения реконструкции поперечной запястной связки отсутствуют. Большая часть авторов считает эффективным применение восстановительной операции в условиях морфологически изменённого срединного нерва или запястного канала, а также особенностей анамнеза больного, которые могут требовать более раннего восстановления функционального состояния верхней конечности и трудоспособности. **Ключевые слова:** синдром запястного канала, невропатия, релиз запястного канала, реконструкция поперечной запястной связки.

Для ссылки: Панкратов А.С., Князев Н.А., Ключников А.С., Потапов А.Н., Опенченко К.А. Реконструкция поперечной запястной связки в лечении синдрома запястного канала. Обзор литературы // Вестник современной клинической медицины. — 2023. — Т.16, вып.5. — С.72-77. DOI: 10.20969/VSKM.2023.16(5).72-77.

RECONSTRUCTION OF THE TRANSVERSE CARPAL LIGAMENT IN THE TREATMENT OF CARPAL TUNNEL SYNDROME. LITERATURE REVIEW

PANKRATOV ALEKSANDR S., ORCID: 0000-0002-6031-4824; C. Med. Sci., Associate Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Extreme Surgery named after Academician of the Russian Academy of Sciences A.F. Krasnov FGBOU VO SamSMU of the Ministry of Health of Russia, 443099, Samara region, Samara city, Karl Marx Avenue, house 165b, e-mail: pas76@mail.ru

KNYAZEV NIKITA A., ORCID ID: 0000-0003-1770-965X; Assistant of the Department of Traumatology, Orthopedics and Extreme Surgery named after Academician of the Russian Academy of Sciences A.F. Krasnov FGBOU VO SamSMU of the Ministry of Health of Russia, 443099, Samara region, Samara city, Karl Marx Avenue, house 165b, e-mail: n.knyazev.bass@gmail.com

KLYUCHNIKOV ALEXEYS., ORCID ID: 0009-0009-5320-5142; clinical resident of the Department of Traumatology, Orthopedics and Extreme Surgery named after Academician of the Russian Academy of Sciences A.F. Krasnov FGBOU VO SamSMU of the Ministry of Health of Russia, 443099, Samara region, Samara city, Karl Marx Avenue, house 165b, e-mail: zif1111111@yandex.ru

POTAPOV ALEXANDER N., ORCID ID: 0009-0000-4681-8199; student of the Institute of Clinical Medicine, FGBOU VO SamSMU of the Ministry of Health of Russia, 443099, Russia, Samara region, Samara, Chapaevskaya str., house 89, e-mail: alex-p278@rambler.ru

OPENCHENKO KRISTINA A., ORCID ID: 0009-0000-0287-6223; student of the Institute of Clinical Medicine, Federal State Budgetary Educational Institution of the Ministry of Health of Russia, 443099, Samara region, Samara, Chapaevskaya str., 89, e-mail: openchenkokristina@yandex.ru

Abstract. Introduction. Carpal tunnel syndrome is a compression of the median nerve at the wrist, a common compression neuropathy of the upper extremities in medical practice. The most effective treatment for this condition is considered to be surgical and the most common approach is either dissecting the carpal ligament without subsequent stitching or reconstructing it. A study of the efficacy of transverse carpal ligament reconstruction approaches helps in the

search for treatment improvement. **The aim** of the study is to compare the effectiveness and safety of different surgical techniques according to Russian and foreign literature sources containing information on the immediate and long-term results of treatment of patients with carpal tunnel syndrome using the transverse carpal ligament reconstruction method. **Materials and methods.** Scientific publications on the topic for 2013-2023 were studied. **Results and discussion.** It was found out that reconstruction of the transverse carpal ligament contributes not only to the increase of carpal tunnel volume, but also to normalization of biomechanics of carpal movements after the operation. **Conclusion.** Currently, there is no unequivocal evidence of significant advantages of reconstructing the transverse carpal ligament. The majority of authors consider reconstructive surgery effective in conditions of morphologically distorted median nerve or carpal tunnel as well as peculiarities of the patient history, which may require earlier restoration of the upper extremity functional state and ability to work.

Key words: carpal tunnel syndrome, neuropathy, carpal tunnel release, reconstruction of the transverse carpal ligament.

For reference: Pankratov AS, Knyazev NA, Klyuchnikov AS et al. Reconstruction of the transverse carpal ligament in the treatment of carpal tunnel syndrome. Literature review. The Bulletin of Contemporary Clinical Medicine. 2023; 16(5): 72-77. **DOI:** 10.20969/VSKM.2023.16(5).72-77.

Введение. Синдром запястного канала (СЗК) является наиболее часто диагностируемой компрессионной невропатией верхних конечностей, которая без соответствующего лечения может привести к потере трудоспособности и инвалидности [1, 2, 3]. Поперечная запястная связка (ПЗС) или удерживатель сгибателей представляет собой прочную волокнистую полосу соединительной ткани, которая располагается над запястьем и является верхней границей запястного канала, туннеля, образованного костями кисти и включающего дистальную глубокую фасцию предплечья, апоневроз между мышцами тенара и гипотенара. В результате сдавления срединного нерва поперечной запястной связкой происходит компрессия и ишемия нерва, что проявляется парестезиями, гипостезией и болевым синдромом в области первого-четвертого пальцев, снижением чувствительности кисти, мышечной слабостью поверхностного сгибателя пальцев и нарушением двигательной активности вследствие атрофии мышц тенара, что приводит к нарушениям функции кисти различных степеней [4].

СЗК является самой распространенной туннельной невропатией верхней конечности [5,6].

Вопросы этиологии первичного синдрома запястного канала остаются нерешенными, что затрудняет лечение. Существуют консервативный и хирургический методы лечения. Консервативная терапия применяется преимущественно в первые 6 месяцев от начала заболевания и заключается в исключении провоцирующего фактора, ортезирование, периневральном введении глюкокортикоидов [7-9]. Эффективность консервативного способа лечения ниже хирургического. Согласно клиническим рекомендациям, М. А. Ходорковско-го, при условии неэффективности консервативного лечения в течение 4 недель целесообразно назначение оперативного [10]. Наиболее распространенным хирургическим способом является рассечение поперечной запястной связки с целью уменьшения давления на срединный нерв [11-15]. Но ряд послеоперационных осложнений, проявляющихся снижением силы хвата, болью при опоре (pillar pain), длительным восстановительным периодом, привели к поиску и разработке новых способов лечения, в том числе с применением реконструкции поперечной связки при релизе сре-

динного нерва [16,17]. Такие операции показали лучшие ближайшие и отдалённые послеоперационные результаты функционального восстановления кисти пациентов. В сравнении с эндоскопическим лечением СЗК они являются и более экономически выгодными. Внимательный анализ современных научных исследований необходим для распространения применения реконструкции поперечной запястной связки в медицинской практике.

Цель. На основании анализа современных научных исследований и публикаций рассмотреть эффективность применения реконструкции поперечной запястной связки и её влияние на послеоперационное функциональное восстановление кисти пациентов с синдромом запястного канала.

Материал и методы. В ходе настоящего обзора, был проведен анализ российских и зарубежных литературных источников за период 2013-2023 годы, содержащих информацию о применении различных методик реконструкции поперечной запястной связки при синдроме запястного канала. Поиск литературы осуществлялся в следующих базах данных: PubMed, Elibrary, Cyberleninka, по ключевым словам: «синдром запястного канала», «техника реконструкции поперечной запястной связки», «высвобождение запястного канала с реконструкцией поперечной запястной связки».

Результаты и их обсуждение. По данным исследований, оперативное лечение демонстрирует высокую результативность. Наиболее распространенный способ - открытая декомпрессия, описанная Н. Galloway в 1924 году. Однако, ПЗС является важной анатомической структурой для нормальной биомеханики движений кисти, поэтому для повышения эффективности лечения и профилактики пальмарной девиации сухожилий сгибателей пальцев в хирургическую технику было внесено несколько модификаций с её реконструкцией. Отклонение от естественного положения сухожилий сгибателей кисти, которое отсутствует в норме, является закономерным осложнением классической операции с рассечением ПЗС и может увеличивать сроки нормализации функционального состояния, силы хвата кисти у пациентов в период реабилитации [18]. Ещё одним наиболее частым послеоперационным осложнением является боль в руке при опоре, которая, вероятно,

связана с разделением ПЗС во время операции. Чаще всего она возникает над треугольно-треугольным суставом, возможно, из-за смещения го-роховидной кости [19-22].

Коллектив авторов во главе с M.S.Saravi проводил Z-пластику реконструктивную пластику ПЗС и назвал ее новым подходом к открытому освобождению запястного канала [18,23]. Также Li с научной группой в своём исследовании сравнили открытое высвобождение срединного нерва в запястном канале и срединный невролиз с реконструкцией ПЗС с помощью Z-пластики у 120 пациентов. 64 пациентам была выполнена простая декомпрессионная операция, а 56 - Z-удлиняющая реконструкция [24]. Результаты исследования показали значительное уменьшение боли в руке при опоре и более раннее возвращение к нормальной функции руки с помощью реконструктивной операции с Z-пластикой. Показатели силы хвата кисти наблюдали близкими к норме раньше и со средним улучшением на 18%. Исследователи пришли к выводу, что открытое высвобождение в сочетании с реконструкцией ПЗС является эффективным в среднесрочной перспективе. Через 6 месяцев после операции отмечали клиническое и статистически значимое улучшение силы хвата, уменьшение тяжести симптомов у пациентов со сложным односторонним идиопатическим СЗК после реконструктивной операции.

Zhang X. и соавторы в 2014 году удлинители связку с 6 мм до 7 мм поэтапно во время операции. В обзоре 104 пациентов 97 (93%) отмечали полное облегчение симптомов без потери силы хвата [25]. При анализе показателей пациентов после хирургического лечения с реконструкцией ПЗС отмечали статистически лучшие результаты функционального восстановления кисти, силы хвата, подтвержденные баллами по шкале Michigan Hand Outcome. Авторы пришли к выводу, что реконструкция ПЗС при СЗК обеспечивает лучшее функциональное состояние руки в сравнении с рассечением ПЗС при открытом способе и при эндоскопической операции. Функция и сила кисти у пациентов после операции с применением реконструкции ПЗС восстанавливались в течение одного-шести месяцев [26-30].

В своём исследовании R. G. Gutierrez-Monclus с соавторами выявили, что выполненная реконструкция ПЗС в отличие от открытого рассечения приводит к улучшению долгосрочного функционального статуса кисти [31]. При этом не было отмечено значительное преимущество силы хвата и облегчение симптомов при краткосрочном и среднесрочном наблюдении. Также не обнаружено различий в количестве послеоперационных осложнений и субъективного мнения пациентов о результатах [32]. Единственным объективным отличием было лучшее сгибание запястья пациентов после операции с применением реконструкции ПЗС.

Однако ряд исследований не подтверждают клиническую эффективность реконструктивной

хирургии ПЗС. В исследовании S. Wongsiri и соавторы отметили, что отсутствуют убедительные доказательства в поддержку необходимости модификаций стандартной хирургической техники открытого высвобождения ПЗС для лечения СЗК [33].

В систематическом обзоре Pourmokhtari и исследовательский коллектив пришли к выводу, что не было подтверждений того, что реконструкция ПЗС лучше классической методики, как в краткосрочном, так и в среднесрочном периоде наблюдения [34].

H. Vasiliadis с группой исследователей не только не смогли обосновать клиническую эффективность реконструкции ПЗС, но и выявили случаи, в которых частота повторения симптомов СЗК после операции была выше у пациентов после реконструктивного восстановления ПЗС [35].

В исследовании Lee и соавторы сравнили хирургический способ с реконструкцией ПЗС и с её простым рассечением, выполненных на левых и правых кистях пациентов с двусторонним СЗК [36]. Через 12 и через 26 недель после операции не было выявлено существенных различий между двумя подходами к лечению.

Коллектив авторов под руководством M. Castro-Menéndez в своём исследовании сравнили способ Z-образного удлинения ПЗС и её простое рассечение при декомпрессии срединного нерва у пациентов с СЗК [37]. В послеоперационный период оценивали силу хвата кисти, наличие болевого синдрома, клинические и функциональные показатели с помощью опросника Левина. Статистически значимых различий показателей силы хвата и наличия боли выявлено не было [38-40].

Langer с группой исследователей предложили метод удлинения ПЗС при помощи транспозиционного радиального лоскута с увеличением объема запястного канала на 44% [41]. При сравнении групп пациентов, операцию которым выполнили способами с реконструкцией ПЗС статистической разницы спустя 12 недель после операции, выявлено не было.

Hewington с соавторами имплантировали Canaletto (Франция) при реконструкции ПЗС [42]. Исследование продемонстрировало преимущество операционной реконструкции ПЗС с применением импланта перед открытой операцией без реконструкции в скорости восстановления силы хвата и восстановлении чувствительности кисти.

M. Vanhees и соавторы обнаружили, что рассечение ПЗС без восстановления целостности значительно увеличивает дистальное расстояние карпального канала на 32,9%, что приводит к внутризапястному повышению подвижности [43].

Marquardt и соавторы провели исследование методом конечных элементов и обнаружили, что кости запястья расположены ближе, когда ПЗС была пересечена [44]. Осевое смещение трехгранной кости уменьшилось сильнее, чем у крючковидной, что привело к увеличению контактного напряжения между этими костями.

J.R. Schiller с коллективом исследователей изучали биомеханические изменения запястья с помощью трехмерной компьютерной томографии и обнаружили значительное увеличение пространства между трапецией и крючковидной костью, большее вращение крючковидной кости вокруг головчатой кости, а также значительное вращение гороховидной кости в сторону от трехгранной кости после операции рассечения ПЗС без её реконструкции, что объясняет послеоперационную потерю силы хвата кисти, боли и сравнительно медленную нормализацию её функционального восстановления [45-47].

Уао и соавторы сравнили четыре способа реконструкции ПЗС и их влияние на размер запястного канала. В исследовании на трупах было обнаружено среднее увеличение объема запястного канала в диапазоне от 31% до 44% [48]. Авторы предполагают, что реконструкция ПЗС способна улучшить функциональное состояние запястья за счет значительного увеличения объема запястного канала без нарушения его стабильности [49,50]. Однако на настоящий момент не существует ни одного исследования, посвященного тесту стабильности и подвижности запястья после реконструкции ПЗС.

Заключение. Таким образом, результаты современных научных исследований в области хирургического лечения СЗК с применением реконструкции ПЗС неоднозначны. Ряд авторов не выявили статистически значимых различий результатов пациентов в послеоперационный период в зависимости от способа операции. Большинство авторов отметили преимущество результатов лечения пациентов с реконструкцией ПЗС. У них наблюдали более высокую скорость нормализации функционального состояния кисти в среднем к 1-3 месяцам после операции, полное исчезновение болевых симптомов через 2-3 недели после операции, в отличие от пациентов, операция которых проводилась без реконструкции ПЗС, где угасание боли фиксировали лишь через 6-8 недель. Реконструкция ПЗС не только эффективна для увеличения объема запястного канала, но также дает преимущество сохранения нормальной биомеханики движений костей запястья, сухожилий сгибателей, мышц тенара и гипотенара.

Отсутствие единых критериев отбора пациентов для выполнения сравнительного объективного анализа результатов исследования, отсутствие стандартизации оперативной техники, вариабельность протоколов послеоперационной реабилитации создают сложности объективной оценки результатов. Тема требует дальнейшего внимательного научного изучения. Дальнейшие исследования могут быть проведены относительно биомеханических тестов стабильности, поиска новых эффективных вариантов и способов хирургического лечения пациентов с СЗК.

Прозрачность исследования. Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы несут пол-

ную ответственность за предоставление окончательной версии рукописи в печать.

Декларация о финансовых и других взаимоотношениях. Все авторы принимали участие в разработке концепции, дизайна исследования и в написании рукописи. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами. Авторы не получали гонорар за исследование.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Hegmann KT, Merryweather A, Thiese MS et al. Median Nerve Symptoms, Signs, and Electrodiagnostic Abnormalities Among Working Adults. The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons. 2018; 26 (16): 576-584. DOI: 10.5435/JAAOS-D-17-00034
2. Ghasemi M, Masoumi S, Ansari B et al. Determination of cut-off point of cross-sectional area of median nerve at the wrist for diagnosing carpal tunnel syndrome. Iranian journal of neurology. 2017; 16(4): 164-167. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29736220/>
3. Atroshi I, Gummesson C, Johnsson R et al. Prevalence of carpal tunnel syndrome in a general population. Journal of the American Medical Association. 1999; 282(2): 153-158. DOI:10.1001/jama.282.2.153
4. Байтингер А.В. Синдром карпального канала: личное и публичное. - Москва: Логосфера, 2021. - С. 120. [Bajtinger AV, Sindrom karpal'nogo kanala: lichnoe i publichnoe [Carpal tunnel syndrome: private and public]. Moskva: Logosfera [Moscow: Logosphere]. 2021; 120 p. (In Russ.)].
5. Shiri R. Arthritis as a risk factor for carpal tunnel syndrome: a meta-analysis. Scand J Rheumatol. 2016; 45(5): 339-346. DOI: 10.3109/03009742.2015.1114141
6. English JH, Gwynne-Jones DP. Incidence of Carpal Tunnel Syndrome Requiring Surgical Decompression: A 10.5-Year Review of 2,309 Patients. J Hand Surg. 2015; 40(12): 2427-2434. DOI: 10.1016/j.jhsa.2015.07.029
7. Palmer KT, Harris EC, Coggon D. Carpal tunnel syndrome and its relation to occupation: a systematic literature review. Occup Med (Lond). 2007; 57(1): 57-66. DOI: 10.1093/occmed/kql125
8. Аль-Замиль М.Х., Карпальный синдром // Клиническая неврология. - 2008. - No 1. - С.41-45. [Al'-Zamil' MKH. Karpal'nyy sindrom [Carpal syndrome]. Klinicheskaya nevrologiya [Clinical Neurology]. 2008; 1: 41-45. (In Russ.)]. <https://elibrary.ru/item.asp?id=13759213>
9. Pourmemari MH, Heliovaara M, Viikari-Juntura E, Shiri R. Carpal tunnel release: Lifetime prevalence, annual incidence, and risk factors. Muscle & nerve. 2018; 58 (4): 497-502. DOI:10.1002/mus.26145
10. Ходорковский М.А. Синдром запястного канала: все ли проблемы решены? // Вопросы реконструктивной и пластической хирургии. - 2018. - №2. - С. 27-33. [Hodorkovskij MA. Sindrom zapjastnogo kanala: vse li problemy resheny? [Carpal tunnel syndrome: are all the problems solved?]. Voprosy rekonstruktivnoj i plasticheskoy hirurgii [Issues of reconstructive and plastic surgery]. 2018; 2: 27-33. (In Russ.)]. DOI: 10.17223/1814147/65/04
11. Wee AS. Carpal tunnel syndrome: a system for categorizing and grading electrophysiologic abnormalities. Electromyogr Clin Neurophysiol. 2001; 41(5): 281-8. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11572189/>

12. Жигало А.В., Почтенко В.В., Морозов В.В. и др. Новая малоинвазивная методика лечения больных с синдромом запястного канала // Вопросы реконструктивной и пластической хирургии. – 2020. – Т. 23, вып. 3. – С.47–57. [Zhigalo AV, Pochtenko VV, Morozov VV et al. Novaya maloinvazivnaya metodika lecheniya bol'nykh s sindromom zapyastnogo kanala [New minimally invasive technique of treating patients with Carpal Tunnel Syndrome]. *Voprosy rekonstruktivnoy i plasticheskoy khirurgii* [Issues of Reconstructive and Plastic Surgery]. 2020; 23(3): 47–57. (In Russ.)]. DOI: 10.17223/1814147/74/05
13. Krom MC, Knipschild PG, Kester AD, et al. Carpal tunnel syndrome: prevalence in the general population. *J Clin Epidemiol.* 1992; 45(4): 373-6. DOI: 10.1016/0895-4356(92)90038-o
14. Spahn G, Wollny J, Hartmann B, et al. Metaanalysis for the evaluation of risk factors for carpal tunnel syndrome (CTS) Part II. Occupational risk factors. *Z Orthop Unfall.* 2012; 150(5): 516-24. DOI: 10.1055/s-0032-1315346.
15. Котельников Г. П., Чернов А. П. Справочник по ортопедии. - Москва: Министерство здравоохранения и социального развития РФ, Агентство по здравоохранению и социальному развитию РФ, Медицина, 2005. – С. 92-94. [Kotel'nikov GP, Chernov AP. Spravochnik po ortopedii [Handbook of Orthopedics]. Moskva: Ministerstvo zdravookhraneniya i sotsial'nogo razvitiya RF, Agentstvo po zdravookhraneniyu i sotsial'nomu razvitiyu RF, Meditsina [Moscow: Ministry of Health and Social Development of the Russian Federation, Agency for Health and Social Development of the Russian Federation, Medicine]. 2005; 92-94 p. (In Russ)].
16. Levy HJ, Soifer TB, Kleinbart FA, et al. Endoscopic carpal tunnel release: an anatomic study. *Arthroscopy.* 1993; 9(1): 1-4. DOI: 10.1016/s0749-8063(05)80334-2.
17. Vasiliadis HS, Nikolakopoulou A, Shrier I et al. Endoscopic and Open Release Similarly Safe for the Treatment of Carpal Tunnel Syndrome. A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal pone.* 2015; 10(12): 1371. DOI: 10.1371/journal.pone.0143683
18. Saravi MS, Kariminasab MH, Bari M et al. A Comparison of Hand Pain and Hand Function after Z-plasty Reconstruction of the Transverse Carpal Ligament with Traditional Median Neurolysis in Carpal Tunnel Syndrome. *Bone and Joint Surgery.* 2016; 4(2); 145-149. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27200393/>
19. Gelfman R, Melton LJ, Yawn BP, et al. Long-term trends in carpal tunnel syndrome. *Neurology.* 2009; 72(1): 33-41. DOI: 10.1212/01.wnl.0000338533.88960.b9
20. Jarvik JG, Comstock BA, Kliot M, et al. Surgery versus non-surgical therapy for carpal tunnel syndrome: a randomised parallelgroup trial. *Lancet.* 2009; 374(9695): 1074-81. DOI: 10.1016/S0140-6736(09)61517-8
21. Bland JD. Treatment of carpal tunnel syndrome. *Muscle Nerve.* 2007; 36(2): 167-71. DOI: 10.1002/mus.20802
22. Saw NL, Jones S, Shepstone L, et al. Early outcome and cost-effectiveness of endoscopic versus open carpal tunnel release: a randomized prospective trial. *J Hand Surg.* 2003; 28(5): 444-9. DOI: 10.1016/s0266-7681(03)00097-4
23. Pagnanelli DM, Barrer SJ. Bilateral carpal tunnel release at one operation: report of 228 patients. *Neurosurgery.* 1992; 31(6): 1030-3. DOI: 10.1227/00006123-199212000-00007
24. Li ZM, Jordan DB, Sci HM. Carpal tunnel mechanics and its relevance to carpal tunnel syndrome. *Human Movement Science.* 2023; 87; 733-746. DOI:10.1016/j.humov.2022.103044
25. Zhang X, Li Y, Wen S et al. Carpal tunnel release with subneural reconstruction of the transverse carpal ligament compared with isolated open and endoscopic release. *The Bone & Joint Journal.* 2015; 97-B(2): 221-228. DOI: 10.1302/0301-620X.97B2.34423
26. Mlakar M, Ramstrand N, Burger H, Vidmar G. Effect of custom-made and prefabricated orthoses on grip strength in persons with carpal tunnel syndrome. *Prosthet Orthot Int.* 2013; 38(3): 193–198. DOI: 10.1177/0309364613490440
27. Pavlidis L, Chalidis BE, Demiri E, Dimitriou CG. The effect of transverse carpal ligament lengthening on carpal tunnel volumetry: a comparison between four techniques. *Ann Plast Surg.* 2010; 65: 480–484. DOI: 10.1097/SAP.0b013e3181d9ab44
28. Xu L, Huang F, Hou C. Treatment for carpal tunnel syndrome by coronal Z-type lengthening of the transverse carpal ligament. *J Pak Med Assoc.* 2011; 61: 1068-1071. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22125980/>
29. Altissimi M. Critical Appraisal of Transverse Carpal Ligament Reconstruction. Theoretical, Experimental, and Clinical Considerations. *Carpal Tunnel Syndrome.* Springer Berlin Heidelberg. 2007; 239–240. DOI: 10.1007/978-3-540-49008-1_33
30. Liong K, Lahiri A, Lee S, et al. Mid-motion deformation of median nerve during finger flexion: a new insight into the dynamic aetiology of carpal tunnel syndrome. *Hand Surg.* 2013;18: 193–202. DOI: 10.1142/S0218810413500238
31. Gutie´rrez-Monclus RG, Gutie´rrez-Espinoza HJ, Flores-Astudillo AR et al. Release with or without reconstruction of the transverse carpal ligament for severe carpal tunnel syndrome: a randomized clinical trial. *Journal of Hand Surgery.* 2018; 43(3): 303-309. DOI: 10.1177/1753193417730260
32. Montanez A, Wang A, Reconstruction of the Flexor Retinaculum. *Carpal Tunnel Syndrome and Related Median Neuropathies.* 2017; 237-243. DOI:10.1007/978-3-319-57010-5_24
33. Wongsiri S, Sarasombath P, Liawrungrueang W. Minimally invasive carpal tunnel release: A clinical case study and surgical technique. *Annals of medicine and surgery.* 2022; 84:104950. DOI: 10.1016/j.amsu.2022.104950.
34. Pourmokhtari M, Mazrooyi M, Vosoughi AR. Conservative or surgical treatment of carpal tunnel syndrome based on the severity and patient risk factors. *Journal of Musculoskeletal Surgery.* 2021; 105(3): 315-319. DOI: 10.1007/s12306-020-00663-x
35. Vasiliadis H, Georgoulas P, Shrier I et al. Endoscopic release for carpal tunnel syndrome. *Cochrane database of systematic reviews.* 2014; (1):CD008265. DOI:10.1002/14651858.CD008265.pub2
36. Lee SH, Gong HS. Grip Strength Measurement for Outcome Assessment in Common Hand Surgeries. *Clinics in Orthopedic Surgery.* 2022; 14(1): 1-12. DOI: 10.4055/cios21090
37. Castro-Menéndez M, Pagazaurtundúa-Gómez S, Pena-Paz S et al. Elongación en Z del ligamentum carpi transversum vs apertura completa para el tratamiento del síndrome del túnel del carpo. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología.* 2016; 60(6): 355-365. DOI:10.1016/j.recot.2016.06.007
38. Luch A. Reconstruction of the flexor retinaculum. En: Luchetti R, Amadio P, editores. *Carpal tunnel syndrome.*

- Berlin: Springer; 2002. 226 - 38. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-49008-1_32
39. Seitz WH, Lall A. Open carpal tunnel release with median neurolysis and z-plasty reconstruction of the transverse carpal ligament. *Curr Orthop Pract.* 2013; 24: 53-7. DOI: 10.1097/BCO.0b013e3182797ac3
 40. Boya H, Ozcan O, Oztekin HH. Long-term complications of open carpal tunnel release. *Muscle Nerve.* 2008; 38: 1146-443. DOI: 10.1002/mus.21068
 41. Langer MF, Oeckepöhler S, Hartensuer R et al. Pulley reconstruction in the hand. *Orthopade.* 2015;44(10):757-766. DOI: 10.1007/s00132-015-3158-0
 42. Newington L, Stevens M, Warwick D et al. Sickness absence after carpal tunnel release: a systematic review of the literature. *Scandinavian Journal of Work.* 2018; 44(6): 557-567. DOI: 10.5271/sjweh.3762
 43. Vanhees M, Verstreken F, Riet R. What does the transverse carpal ligament contribute to carpal stability? *Journal of wrist surgery.* 2015; 4(1): 31-34. DOI: 10.1055/s-0034-1398486
 44. Marquardt TL, Evans PJ, Seitz Jr WH, Li Z-M. Carpal arch and median nerve changes during radioulnar wrist compression in carpal tunnel syndrome patients. *Journal of Orthopaedic Research.* 2016; 34(7): 1234-1240. DOI: 10.1002/jor.23126
 45. Schiller JR, Brooks JJ, Mansuripur PK et al. Three-dimensional carpal kinematics after carpal tunnel release. *Journal of wrist surgery.* 2016; 5(3): 222–226. DOI:10.1055/s-0036-1578812
 46. Paul J, Cagle Jr. MD, Megan Reams MA, Julie Agel MA, Deb Bohn MD. An Outcomes Protocol for Carpal Tunnel Release: A Comparison of Outcomes in Patients With and Without Medical Comorbidities. *The Journal of Hand Surgery.* 2014; 39(11): 2175-2180. DOI:10.1016/j.jhsa.2014.07.017
 47. Chandra PS, Singh PK, Goyal V, et al. Early versus delayed endoscopic surgery for carpal tunnel syndrome: prospective randomized study. *World Neurosurg.* 2013; 79(5-6): 767-772. DOI: 10.1016/j.wneu.2012.08.008
 48. Yao Y, Erdemir A, Li Z-M. Finite element analysis for transverse carpal ligament tensile strain and carpal arch area. *Journal of Biomechanics.* 2018; 7(73): 210-216. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2018.04.005
 49. Jakab E, Ganos D, Cook FW. Transverse carpal ligament reconstruction in surgery for carpal tunnel syndrome: A new technique. *The Journal of Hand Surgery.* 1991; 16(2): 202-206. DOI:10.1016/S0363-5023(10)80097-8
 50. Alves MPT. Transverse mini-incision for carpal tunnel release. *Acta ortop Brasil.* 2011; 19(6): 362-7. DOI: 10.1590/S1413-78522011000600008