

Otrzymano: 04.01.2020
 Zaakceptowano: 26.02.2020
 Opublikowano: 15.06.2020

Monitorowanie w badaniu elastograficznym efektów rehabilitacji nerwu pośrodkowego w przebiegu zespołu cieśni kanału nadgarstka

Sonoelastic response of median nerve to rehabilitation in carpal tunnel syndrome

Yasemin Durum Polat¹, Elif Aydın², Fikriye Sinem Ince², Mehmet Bilgen³

¹ Department of Radiology, Aydın Adnan Menderes University, Faculty of Medicine, Aydın, Turcja

² Department of Physical Therapy and Rehabilitation, Aydın Adnan Menderes University, Faculty of Medicine, Aydın, Turcja

³ Department of Biophysics, Aydın Adnan Menderes University, Faculty of Medicine, Aydın, Turcja

Adres do korespondencji: Assistant Prof. Dr Yasemin Durum Polat, MD, Aydın Adnan Menderes University, Faculty of Medicine, Department of Radiology, Aydın, Turkey; tel.: +905052291535, faks: +92562146495, e-mail: yasemindurum@gmail.com

DOI: 10.15557/JoU.2020.0014

Słowa kluczowe

sonoelastografia,
 ultrasonografia,
 zespół cieśni
 nadgarstka,
 nerw pośrodkowy

Keywords

sonoelastography,
 ultrasonography,
 carpal tunnel
 syndrome,
 median nerve

Abstract

Aim of the study: To evaluate the sonoelastic response of the median nerve in patients with carpal tunnel syndrome following conservative rehabilitation with splint plus exercise regimens. **Materials and methods:** A total of thirty-five patients diagnosed with mild carpal tunnel syndrome and treated with splint plus exercise therapy; hand resting splint all day for 3 weeks and then only at nights along with nerve gliding exercises in 10 repetitions 3 times a day. The median nerve was evaluated clinically prior to the treatment and at week 6 of therapy using physical examination, electrodiagnostic neurophysiology tests and radiological imaging; Boston Scores, electromyogram, ultrasonography and sonoelastography. **Results:** Following the 6-week treatment protocol on 35 subjects with mild carpal tunnel syndrome, sonoelastography showed significantly softer median nerve, while the traditional parameters based on Boston Scores and cross-sectional area based on ultrasonography remained nearly unresponsive. Such early indication of biomechanical changes in the nerve may be of clinical importance if it can offer a prognostic value of the applied treatment, while tissue softening suggests the alleviation of nerve compression. **Conclusions:** Sonoelasticity of the median nerve can serve as a reliable marker for assessing therapeutic changes in median nerve stiffness and potentially the outcome early on in mild carpal tunnel syndrome.

Wstęp

Zespół cieśni nadgarstka (*carpal tunnel syndrome*, CTS) jest najczęściej występującym typem neuropatii. Częstość występowania zaburzenia w populacji jest szacowana na 0,1–0,5%⁽¹⁾. Schorzenie jest spowodowane uwięzieniem nerwu pośrodkowego pod troczkiem zginaczy. Objawia się

osłabieniem siły mięśniowej oraz występowaniem parestezji i dolegliwości bólowych w obrębie nadgarstka i ręki, które obniżają jakość życia. Stopień nasilenia zaburzenia oraz skuteczność interwencji terapeutycznych zazwyczaj określa się na podstawie badania fizykalnego obejmującego ocenę parametrów funkcjonalnych, sprawności ruchowej, bólu, czucia i siły mięśniowej, a także przy wykorzystaniu

badań elektrodiagnostycznych⁽²⁾. Wymienione procedury są jednak bolesne albo dają fałszywie negatywne wyniki podczas wstępnej diagnostyki lub w okresie leczenia.

Sugerowaną nieinwazyjną i niedrogą metodą wizualizacji całego nerwu pośrodkowego i jego okolicy jest ultrasonografia (USG)⁽³⁾. Dostępne dane wskazują na przydatność USG nie tylko w początkowej diagnostyce CTS, ale także przy ocenie skuteczności wprowadzonego leczenia⁽⁴⁻⁶⁾. Analizowane jest pole przekroju poprzecznego (*cross-section area*, CSA) nerwu pośrodkowego na wejściu i wyjściu z kanału nadgarstka. Wartość pomiarowa tego parametru odzwierciedla stopień nasilenia CTS⁽⁷⁾. Jako rozszerzenie konwencjonalnego badania USG wprowadzono także badanie sonoelastograficzne (*sonoelastography*, SE) umożliwiające mapowanie miejscowego rozkładu elastyczności w obrębie tkanek biologicznych^(8,9).

Elastyczność definiowana jest jako zdolność przedmiotu do odzyskiwania pierwotnej postaci i rozmiaru po odkształceniu (rozciągnięciu lub ściśnięciu)⁽¹⁰⁾. Chorobowo zmieniona tkanka wykazuje odbiegające od normy właściwości elastyczne⁽¹¹⁾. Charakterystyka sonoelastyczna nerwów obwodowych i innych tkanek była analizowana we wcześniejszych publikacjach^(8,10,12-14). W literaturze dostępne są badania, w których sonoelastografię wykorzystano z dobrym skutkiem w diagnostyce CTS. Według doniesień nerw pośrodkowy u pacjentów z CTS charakteryzuje się zwiększoną sztywnością niż u osób zdrowych^(10,13-15). Przydatność SE jako nowej metody oceny skuteczności leczenia wykazano także po iniekcjach leków steroidowych do kanału nadgarstka^(3,15) oraz po przecięciu troczka zginaczy i odbarczeniu nerwu⁽¹⁶⁾.

Na wczesnym etapie rozwoju schorzenia, u pacjentów z łagodną postacią CTS, podstawową strategią terapeutyczną jest leczenie zachowawcze z zastosowaniem ortezy oraz ćwiczeń poślizgowych nerwu pośrodkowego. Zgodnie z naszą najlepszą wiedzą zmiany właściwości sonoelastycznych nerwu pośrodkowego po zastosowaniu takiej terapii skojarzonej nie były dotychczas badane. Za główny cel badania przyjęto ocenę obrazu nerwu pośrodkowego w badaniu sonoelastograficznym u pacjentów z CTS, u których zastosowano leczenie z użyciem ortezy i programu ćwiczeń. W pracy oceniano również, czy wczesne wykonanie badania SE daje korzyści pod względem rokowniczym po wprowadzeniu terapii CTS.

Materiały i metody

Uczestnicy badania

Badanie zostało zatwierdzone przez właściwą komisję bioetyczną (protokół nr 23/12/2016-E.56735). Przed rozpoczęciem badania od wszystkich pacjentów uzyskano świadomą zgodę na udział. Odnotowano dane demograficzne uczestników: wiek, masę ciała i okres utrzymywania się objawów. Rozpoznanie kliniczne CTS ustalono na podstawie objawów oraz zapisów z badania elektrofizjologicznego⁽¹⁷⁾. Przewodnictwo nerwowe mierzono w badaniu elektromiograficznym przy wykorzystaniu aparatu Nihon Kohden Neuropack-S1 (Tokio, Japonia). Nasilenie CTS poddano ocenie według systemu klasyfikacji

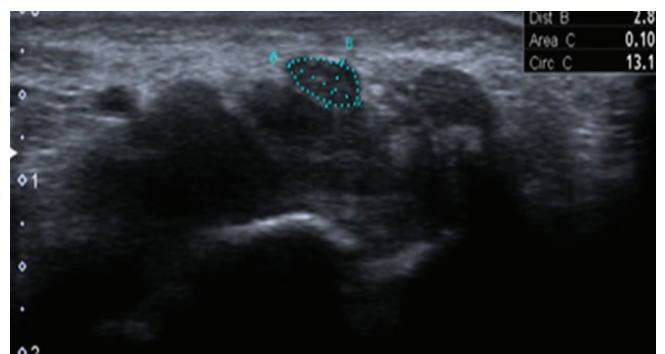
neurofizjologicznej GEHS⁽¹⁸⁾. Pacjentów ze stopniem nasilenia schorzenia 1, 2 lub 3 włączono do badania jako idealnych kandydatów do leczenia zachowawczego. Kryteria wyłączenia obejmowały: operacyjne leczenie CTS w wywiadzie, iniekcje do kanału nadgarstka, ciąża, polineuropatia i stany chorobowe, które mogą powodować CTS (m.in. cukrzyca, przewlekła choroba zapalna lub schorzenie tarczycy).

Łącznie 35 pacjentów z CTS spełniło ustalone kryteria i zostało zakwalifikowanych do badanej kohorty. W badaniu zastosowano schemat krzyżowy. Każdy uczestnik był badany dwukrotnie – przed rozpoczęciem leczenia (poziom wyjściowy) i w 6. tygodniu terapii. Ocena przeprowadzona przed leczeniem stanowiła punkt odniesienia dla porównania z danymi uzyskanymi po terapii. Wszyscy uczestnicy otrzymali do wypełnienia kwestionariusz bostoński (Boston Questionnaire, BCTQ) złożony z dwóch części: skali oceny nasilenia objawów (Boston-S) i skali oceny stanu funkcjonalnego (Boston-F). Sumując wyniki w skali Boston-S i Boston-F, uzyskano wynik łączny (Boston-T). Wyższy wynik w kwestionariuszu wskazywał na obecność bardziej nasilonych objawów oraz pogorszenie stanu funkcjonalnego⁽¹⁹⁾.

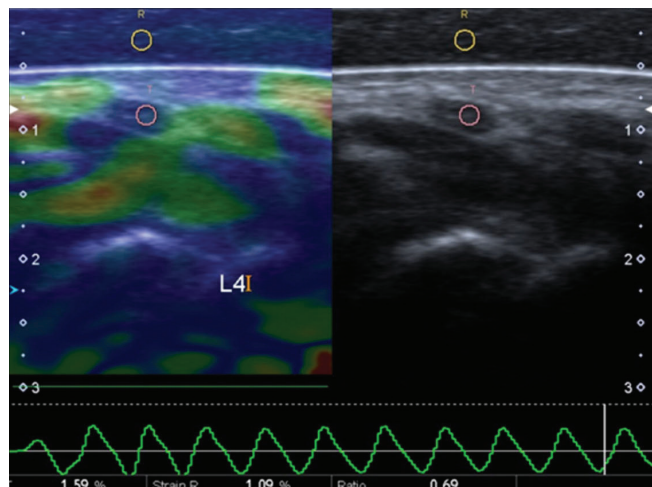
Pacjentom zalecono noszenie ortezy stabilizującej na nadgarstek przez cały dzień przez 3 tygodnie, a następnie wyłącznie w nocy. Ponadto pacjenci otrzymali instruktaż w zakresie ćwiczeń poślizgowych nerwu pośrodkowego wraz z zaleceniem ich wykonywania w domu w 10 powtórzeniach 3 razy dziennie.

Badanie sonoelastograficzne

U uczestników z łagodną postacią CTS wykonano badanie sonoelastograficzne metodą tzw. obrazowania z wolnej ręki. Badanie wykonywał lekarz-radiolog (YDP) z 7-letnim doświadczeniem. Obrazowanie nerwu pośrodkowego przeprowadzono głowicą liniową 7–12 MHz Aplio 500 (Toshiba, Japonia). Skanowanie wykonano w godzinach popołudniowych na początku terapii, a także na zakończenie leczenia podczas wizyty kontrolnej. Badanie odbywało się w pozycji siedzącej. Pacjent umieszczał objętą schorzeniem ręką skierowaną wewnętrzną stroną do góry na twardej przystawce



Ryc. 1. Przekrój poprzeczny nerwu pośrodkowego w konwencjonalnym badaniu USG w prezentacji B-mode u 45-letniego pacjenta. Umieszczone ręcznie obszary zainteresowania (ROI). Pomiar przekroju poprzecznego (CSA) nerwu pośrodkowego – 0,10 cm²



Ryc. 2. Poprzeczny obraz SE nerwu pośrodkowego u 50-letniej kobiety z łagodną postacią CTS. Badanie SE wykonano na wysokości kości łódeczkowatej i grochowatej. Umieszczone ręcznie okrągłe obszary zainteresowania (ROI)

dystansującej, z łokciem pod kątem 90° . Kanał nadgarstka obrazowano w płaszczyźnie poprzecznej na wysokości kości łódeczkowatej i grochowatej. Nerw pośrodkowy zidentyfikowano na podstawie obrazu w skali szarości oraz jego echogeniczności. Zarys nerwu zaznaczono ręcznie, aby zmierzyć CSA (Ryc. 1). Następnie wykonano badanie sonoelastograficzne w czasie rzeczywistym, z zastosowaniem przystawki dystansującej umieszczonej pomiędzy głowicą a powierzchnią skóry. Przystawka była wykonana z polimeru o stałej wartości sprężystości i właściwościach akustycznych zbliżonych do tkanek biologicznych. Przystawka polimerowa i leżący pod nią kanał nadgarstka były poddawane odkształcaniu w cyklach kompresja–dekompresja poprzez dociskanie głowicy z siłą i częstotliwością w ramach przyjętego zakresu zgodnie z widocznym na ekranie wskaźnikiem odkształcenia. Pozyskano obrazy zarówno statyczne, jak i dynamiczne, rejestrując je do dalszej analizy. Jeden obszar zainteresowania (*region of interest*, ROI) umieszczono nad nerwem pośrodkowym, a drugi (o zbliżonej wielkości) – nad przystawką (Ryc. 2). Stopień sztywności nerwu pośrodkowego określono na podstawie wskaźnika odkształcenia (*strain index*, SI), który został obliczony przez zintegrowane oprogramowanie aparatu jako stosunek odkształceń wzdłużnych uśrednionych dla ROI w obrębie przystawki (*slab pad*, SP) i nerwu pośrodkowego (*median nerve*, MN) i automatycznie wyświetlony na ekranie urządzenia. Pomiary SI wykonano 5-krotnie w różnych fazach dekompresji, a uzyskaną średnią przedstawiono tabelarycznie dla każdego pacjenta.

Analiza statystyczna

Wszystkie analizy statystyczne przeprowadzono przy wykorzystaniu pakietu SPSS Statistics for Windows (wersja 17) (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Dane tabelaryczne obejmowały parametry mierzone przed leczeniem i po jego zakończeniu: kwestionariusz bostoński, pomiary CSA oraz SI. Do oceny zgodności rozkładu analizowanych pomiarów z rozkładem normalnym zastosowano test

Kolmogorowa-Smirnowa. Porównania pomiędzy grupami przeprowadzono przy pomocy testu t Studenta. Do porównania danych przed i po terapii wykorzystano jednostronny sparowany test t Studenta. Wartość p poniżej 0,05 uznano za próg istotności statystycznej obserwowanych różnic.

Wyniki

Wiek uczestników badania mieścił się w przedziale $49,9 \pm 10,5$ lat, a BMI w przedziale $29,6 \pm 5,2$. Badana grupa obejmowała 30 kobiet (85,7%) oraz 5 mężczyzn (14,3%). Badaniu SE poddano łącznie 61 nadgarstków. U 85,7% pacjentów schorzenie występowało w ręce dominującej. U 80% pacjentów objawy utrzymywały się dłużej niż rok. U 5,7% stopień nasilenia CTS w klasyfikacji GEHS określono jako 1, u 31,4% – jako 2, a u 62,9% – jako 3.

Dane zgromadzone podczas badania zostały zestawione w Tab 1. Wyniki pacjentów w kwestionariuszu bostońskim przed leczeniem i po nim przedstawiono na Ryc. 3. Stosowanie ortezy i ćwiczeń fizycznych przez ustalony okres nie wywołało poprawy w skali oceny stanu funkcjonalnego (Boston-F) ani w ocenie łącznej (Boston-T). Wydaje się jednak, że badane leczenie skojarzone przyniosło korzyści terapeutyczne, ponieważ różnice w wynikach w skali nasilenia objawów (Boston-S) były istotne statystycznie. Porównanie pomiarów na podstawie obrazów USG i SE nerwu pośrodkowego przedstawiono na Ryc. 4 i Ryc. 5. Dane wskazują, że zastosowane leczenie nie spowodowało istotnych zmian w polu przekroju poprzecznego nerwu pośrodkowego. Analiza właściwości sonoelastycznych wykazała jednak wzrost względnej elastyczności nerwu.

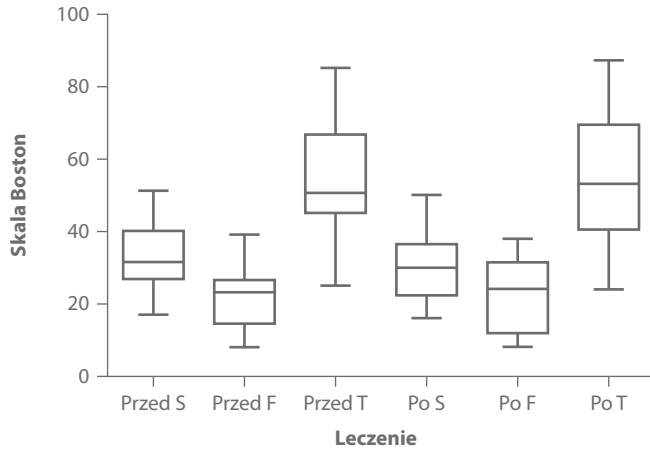
Dyskusja

W opisanym badaniu analizowano sztywność nerwu pośrodkowego u pacjentów z CTS, u których wdrożono leczenie zachowawcze. Ocenę oparto na pomiarach SE. Uważa się, że patofizjologia CTS jest związana ze zwiększonym uciskiem na nerw pośrodkowy, który prowadzi do uszkodzenia niedokrwiennego i ogniskowej demielinizacji, a w następnej kolejności do odkładania się zwłókniałej tkanki⁽²⁰⁻²²⁾. Główną przyczyną wzmożonej sztywności nerwu u pacjentów z CTS

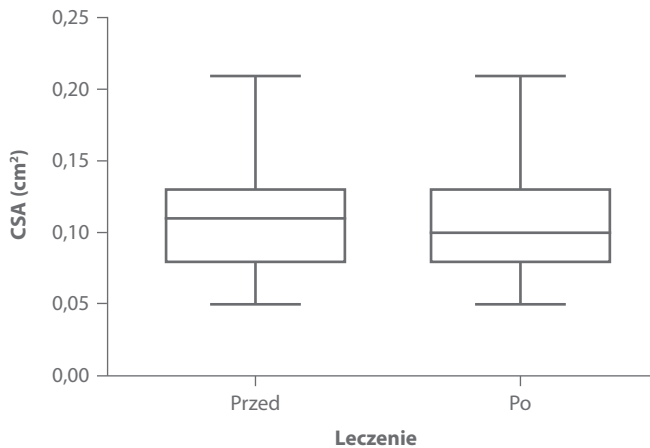
Tab. 1. Ocena 35 pacjentów przed rozpoczęciem leczenia i po jego zakończeniu

	Poziom wyjściowy Mediana (25%,75%)	Orteza + ćwiczenia Mediana (25%,75%)	p
Boston-S	31,50 (27,00; 40,00)	30,00 (22,25; 36,50)	0,04
Boston-F	23,00 (14,25; 26,50)	24,00 (11,75; 31,50)	0,19
Boston-T	50,50 (45,00; 66,75)	40,25 (53,00; 69,25)	0,32
CSA (cm ²)	0,11 (0,08; 0,13)	0,10 (0,08; 0,13)	0,11
SP/MN SI	0,83 (0,33; 1,66)	0,69 (0,31; 1,17)	0,03

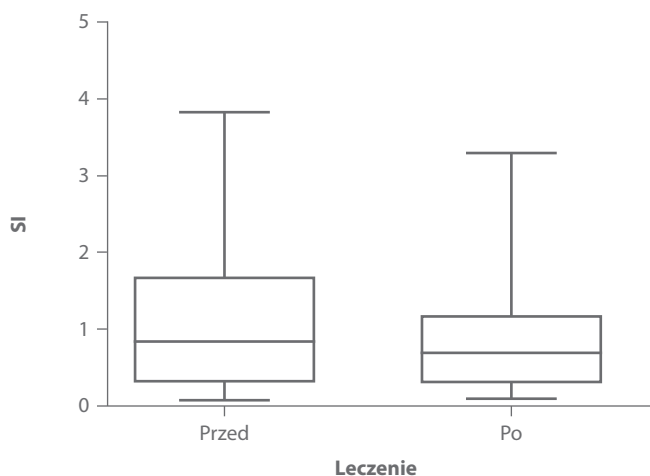
Kwestionariusz bostoński do oceny cieśni nadgarstka; S (*symptom severity scale*) – skala oceny nasilenia objawów; F (*functional status scale*) – skala oceny stanu funkcjonalnego; T (*total*) – ocena łączna; CSA – pole przekroju poprzecznego; SP/MN SI (*slab pad/median nerve strain index*) – wskaźnik odkształcenia przystawki dystansującej/nerw pośrodkowy



Ryc. 3. Wyniki uzyskane w kwestionariuszu bostońskim przed badaniem i po nim. Różnica między wynikami w skali Boston-S przed badaniem i po nim jest istotna statystycznie ($p < 0,05$); dla różnic pomiędzy wynikami w skali Boston-F i wynikami łącznymi (T) nie odnotowano istotności statystycznej ($p > 0,05$)



Ryc. 4. Pole przekroju poprzecznego (CSA) nerwu pośrodkowego przed rozpoczęciem leczenia i po jego zakończeniu. Różnica jest nieistotna statystycznie ($p > 0,05$)



Ryc. 5. Pomiary wskaźnika odkształcenia (SI) przed rozpoczęciem i po zakończeniu leczenia. Różnica jest istotna statystycznie ($p < 0,05$)

jest włóknienie okolicy epineuralnej w warunkach przewlekłej kompresji. Zwiększona sztywność ogranicza zdolność nerwu do powrotu do pierwotnego kształtu po kompresji. W leczeniu zachowawczym łagodnego i umiarkowanego CTS zaleca się stosowanie ortezy oraz wykonywanie ćwiczeń poślizgowych ścięgien i nerwu pośrodkowego⁽²³⁾. Ćwiczenia polegające na aktywnych ruchach nadgarstka i palców oraz stabilizacja w ortezie korzystnie wpływają na powrót żylny w pęczkach nerwu pośrodkowego, a także zmniejszają ucisk na kanał nadgarstka⁽²⁴⁾. Leczenie ogranicza obrzęk i pośrednio zapobiega nieodwracalnemu uszkodzeniu nerwu.

W diagnostyce CTS powszechnie wykorzystuje się ocenę USG, w której własności akustyczne tkanek są odwzorowane w odcieniach skali szarości (*grey scale ultrasound*), choć podejmowane są również próby obrazowania techniką rezonansu magnetycznego o wysokiej rozdzielczości^(25,26). W dotychczasowych publikacjach wartości CSA nerwu pośrodkowego kształtowały się w przedziale 0,9–0,12 cm²^(27–29). W naszych pomiarach wartość CSA nerwu pośrodkowego u pacjentów z CTS wynosiła ok. 0,10 cm² i nie zmieniała się w odpowiedzi na zastosowane leczenie (Ryc. 4). Chociaż strategia leczenia jest zasadniczo inna w przypadku miejscowych iniekcji kortykosteroidów do kanału nadgarstka, w okolicy nerwu wykazano niewielki wzrost CSA w łagodnych przypadkach, ale znaczący spadek w przypadkach o umiarkowanym nasileniu⁽³⁾.

Zakładano, że wartość CSA zmniejszy się na skutek leczenia ze względu na ustąpienie obrzęku. Nie zaobserwowano jednak takiego efektu. Uzyskane przez autorów niniejszej pracy dane wykazały wzrost elastyczności nerwu pośrodkowego po 6-tygodniowej rehabilitacji (Ryc. 5). Wskazuje to, że SE umożliwia niezależną ocenę efektów leczenia CTS, co dostrzegli także inni badacze w innych warunkach^(3,15,16). Wzrost elastyczności tkanek może mieć implikacje kliniczne, sygnalizując korzystne efekty rehabilitacji. Należy jednak przede wszystkim zwrócić uwagę na to, że połączenie ćwiczeń fizycznych i stosowania ortezy zmienia właściwości biomechaniczne nerwu pośrodkowego, nie powodując zmian w wartości CSA. Spostrzeżenie to można wyjaśnić toczącymi się zmianami patologicznymi, które powodują przebudowę strukturalną tej okolicy i obejmują wewnętrzne włóknienie lub powstawanie tkanki bliznowatej w obrębie nerwu⁽³⁰⁾. Na podstawie uzyskanych danych można uznać, że wzrost elastyczności tkanek jest skutkiem zapobiegania dalszemu włóknieniu w okolicy epineuralnej w następstwie ćwiczeń poślizgowych, a nie tylko samego stosowania ortezy. Możliwość zewnętrznego wywołania zmian biomechanicznych ma istotne implikacje kliniczne, ponieważ należy oczekiwać, że wzrost elastyczności tkanek zmniejszy ucisk na nerw, a efekt ten ostatecznie wpłynie korzystnie na przebieg CTS. Niestety inne parametry (CSA) i wyniki w kwestionariuszu bostońskim nie potwierdziły poprawy stanu funkcjonalnego, co stanowi swego rodzaju zagadkę. Być może odpowiedź kliniczna na leczenie następuje w wolniejszym tempie, a ocena uczestników badania przeprowadzona w 6. tygodniu była zbyt wczesna.

Przeprowadzone badanie miało określone ograniczenia. Po pierwsze ocenę USG przeprowadził jeden radiolog, a zatem

nie można było poddać analizie zmienności między obserwatorami. Ponieważ w przeprowadzonych wcześniej podobnych badaniach w analizach elastograficznych wykazywano znaczącą zmienność między obserwatorami, należałoby spodziewać się zbliżonych wyników, gdyby w opisywanym badaniu obrazowanie wykonywało kilku lekarzy^(3,15,16). Po drugie ocenie poddawano sztywność nerwu pośrodkowego, ale nie sztywność kanału nadgarstka, ponieważ przyjęty protokół rehabilitacji obejmował ćwiczenia poślizgowe nerwu pośrodkowego. Zwiększony ucisk na kanał nadgarstka oddziałuje nie tylko na sam nerw, ale także na ścięgna. W dotychczasowej literaturze wskazywano raczej na istotne zmiany pod względem sztywności kanału nadgarstka, a nie nerwu pośrodkowego^(3,15). Po trzecie nie przeprowadzono oceny w kolejnych punktach czasowych, ponieważ badanie miało charakter pilotażowy, ukierunkowany na ocenę zasadności i przydatności SE w leczeniu CTS.

Piśmiennictwo

1. Stevens JC: AAEM minimonograph #26: the electrodiagnosis of carpal tunnel syndrome. American Association of Electrodiagnostic Medicine. Muscle Nerve 1997; 20: 1477–1486.
2. Lim YH, Chee DY, Girdler S, Lee HC: Median nerve mobilization techniques in the treatment of carpal tunnel syndrome: A systematic review. J Hand Ther 2017; 30: 397–406.
3. Asadov R, Erdal A, Buğdaycı O, Gündüz OH, Ekinci G: The effectiveness of ultrasonography and ultrasonographic elastography in the diagnosis of carpal tunnel syndrome and evaluation of treatment response after steroid injection. Eur J Radiol 2018; 108: 172–176.
4. Mondelli M, Filippou G, Aretini A, Frediani B, Reale F: Ultrasonography before and after surgery in carpal tunnel syndrome and relationship with clinical and electrophysiological findings. A new outcome predictor? Scand J Rheumatol 2008; 37: 219–224.
5. Smidt MH, Visser LH: Carpal tunnel syndrome: clinical and sonographic follow-up after surgery. Muscle Nerve 2008; 38: 987–991.
6. Vögelin E, Nüesch E, Jüni P, Reichenbach S, Eser P, Ziswiler HR: Sonographic follow-up of patients with carpal tunnel syndrome undergoing surgical or nonsurgical treatment: prospective cohort study. J Hand Surg Am 2010; 35: 1401–1409.
7. Zhang L, Rehemutula A, Peng F, Yu C, Wang TB, Chen L: Does the ratio of the carpal tunnel inlet and outlet cross-sectional areas in the median nerve reflect carpal tunnel syndrome severity? Neural Regen Res 2015; 10: 1172–1176.
8. Karaman CZ, Başak S, Polat YD, Ünsal A, Taşkın F, Kaya E *et al.*: The role of real-time elastography in the differential diagnosis of salivary gland tumors. J Ultrasound Med 2019; 38: 1677–1683.
9. Bilgen M: Target detectability in acoustic elastography. IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control 1999; 46: 1128–1133.
10. Orman G, Ozben S, Huseyinoglu N, Duyum M, Orman KG: Ultrasound elastographic evaluation in the diagnosis of carpal tunnel syndrome: initial findings. Ultrasound Med Biol 2013; 39: 1184–1189.
11. Bilgen M, Insana MF: Elastostatics of a spherical inclusion in homogeneous biological media. Phys Med Biol 1998; 43: 1–20.
12. Ning CP, Jiang SQ, Zhang T, Sun LT, Liu YJ, Tian JW: The value of strain ratio in differential diagnosis of thyroid solid nodules. Eur J Radiol 2012; 81: 286–291.
13. Ghajarzadeh M, Dadgostar M, Sarraf P, Emami-Razavi SZ, Miri S, Malek M: Application of ultrasound elastography for determining carpal tunnel syndrome severity. Jpn J Radiol 2015; 33: 273–278.
14. Kantarci F, Ustabasioglu FE, Delil S, Olgun DC, Korkmaz B, Dikici AS *et al.*: Median nerve stiffness measurement by shear wave elastography: a potential sonographic method in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. Eur Radiol 2014; 24: 434–440.
15. Miyamoto H, Halpern EJ, Kastlunger M, Gabl M, Arora R, Bellmann-Weiler R *et al.*: Carpal tunnel syndrome: diagnosis by means of median

Wnioski

W podsumowaniu należy stwierdzić, że sonoelastografia umożliwiła ocenę sztywności tkanek, dostarczając informacji o zmianach właściwości biomechanicznych nerwu pośrodkowego. Pomiar wykonywany techniką SE mogą służyć jako wczesny wskaźnik oceny odpowiedzi na leczenie zachowawcze z zastosowaniem ortezy i ćwiczeń fizycznych w przebiegu CTS zamiast tradycyjnej oceny stanu funkcjonalnego i objawów.

Konflikt interesów

Autorzy nie zgłaszają żadnych finansowych ani osobistych powiązań z innymi osobami lub organizacjami, które mogłyby negatywnie wpłynąć na treść publikacji oraz rościć sobie prawo do tej publikacji.

nerve elasticity-improved diagnostic accuracy of US with sonoelastography. Radiology 2014; 270: 481–486.

16. Yoshii Y, Ishii T, Etou F, Sakai S, Tanaka T, Ochiai N: Reliability of automatic vibratory equipment for ultrasonic strain measurement of the median nerve. Ultrasound Med Biol 2014; 40: 2352–2357.
17. Beekman R, Visser LH: Sonography in the diagnosis of carpal tunnel syndrome: a critical review of the literature. Muscle Nerve 2003; 27: 26–33.
18. Greathouse DG, Ernst G, Halle JS, Shaffer SW: GEHS neurophysiological classification system for patients with carpal tunnel syndrome. US Army Med Dep J 2016: 60–67.
19. Levine DW, Simmons BP, Koris MJ, Daltroy LH, Hohl GG, Fossel AH *et al.*: A self-administered questionnaire for the assessment of severity of symptoms and functional status in carpal tunnel syndrome. J Bone Joint Surg Am 1993; 75: 1585–1592.
20. Mackinnon SE: Pathophysiology of nerve compression. Hand Clin 2002; 18: 231–241.
21. Ibrahim I, Khan WS, Goddard N, Smitham P: Carpal tunnel syndrome: a review of the recent literature. Open Orthop J 2012; 6: 69–76.
22. Rempel D, Dahlin L, Lundborg G: Pathophysiology of nerve compression syndromes: response of peripheral nerves to loading. J Bone Joint Surg Am 1999; 81: 1600–1610.
23. Baysal O, Altay Z, Ozcan C, Ertem K, Yologlu S, Kayhan A: Comparison of three conservative treatment protocols in carpal tunnel syndrome. Int J Clin Pract 2006; 60: 820–828.
24. Seradge H, Bear C, Bithell D: Preventing carpal tunnel syndrome and cumulative trauma disorder: effect of carpal tunnel decompression exercises: an Oklahoma experience. J Okla State Med Assoc 2000; 93: 150–153.
25. Bilgen M, Heddings A, Al-Hafez B, Hasan W, McLiff T, Toby B *et al.*: Microneurography of human median nerve. J Magn Reson Imaging 2005; 21: 826–830.
26. Heddings A, Bilgen M, Nudo R, Toby B, McLiff T, Brooks W: High-resolution magnetic resonance imaging of the human median nerve. Neurorehabil Neural Repair 2004; 18: 80–87.
27. Mallouhi A, Pülzl P, Trieb T, Piza H, Bodner G: Predictors of carpal tunnel syndrome: accuracy of gray-scale and color Doppler sonography. AJR Am J Roentgenol 2006; 186: 1240–1245.
28. Wiesler ER, Chloros GD, Cartwright MS, Smith BP, Rushing J, Walker FO: The use of diagnostic ultrasound in carpal tunnel syndrome. J Hand Surg Am 2006; 31: 726–732.
29. Roll SC, Evans KD, Li X, Freimer M, Sommerich CM: Screening for carpal tunnel syndrome using sonography. J Ultrasound Med 2011; 30: 1657–1667.
30. Rempel DM, Diao E: Entrapment neuropathies: pathophysiology and pathogenesis. J Electromyogr Kinesiol 2004; 14: 71–75.