

Submitted: 17.02.2013
Accepted: 11.03.2013

Ocena ultrasonograficzna wybranych patologii nerwów obwodowych.

Część III: Urazy i ocena pooperacyjna

Ultrasound assessment of selected peripheral nerve pathologies.

Part III: Injuries and postoperative evaluation

Berta Kowalska¹, Iwona Sudot-Szopińska²

¹ Indywidualna Specjalistyczna Praktyka Lekarska Berta Kowalska, Kraków, Polska

² Zakład Radiologii, Instytut Reumatologii w Warszawie oraz Zakład Diagnostyki Obrazowej, II Wydział Lekarski WUM, Warszawa, Polska

Adres do korespondencji: Berta Kowalska, ul. Słomczyńskiego 12/8, 31-234 Kraków, e-mail: berta.kowalska@gmail.com

Słowa kluczowe

neuropatie obwodowe, urazy nerwów, ultrasonografia, zmiany pourazowe, powikłania pooperacyjne, wtórne neuropatie

Streszczenie

W poprzednich dwóch artykułach z serii poświęconej diagnostyce ultrasonograficznej nerwów obwodowych zostały przedstawione najczęstsze patologie, jakimi są neuropatie uciskowe. Celem kończącej cykl III części jest przedstawienie możliwości ultrasonografii w ocenie drugich co do częstości neuropatii obwodowych, tj. zmian pourazowych, oraz w kontroli pooperacyjnej nerwów obwodowych. Wczesna diagnostyka zmian pourazowych ma fundamentalne znaczenie dla przebiegu leczenia oraz jego odległych wyników. Ułatwia chirurgowi podjęcie decyzji o rodzaju postępowania (operacyjnym bądź zachowawczym). W przypadku konieczności leczenia operacyjnego chirurg w oparciu o wynik badania ultrasonograficznego może zaplanować rodzaj metody operacyjnej. W niektórych sytuacjach może nawet odstąpić od zabiegu naprawczego czy rekonstrukcyjnego (przy rozległych ubytkach pni nerwowych) na rzecz transferów mięśniowych. Literatura medyczna proponuje szereg podziałów uszkodzeń nerwów obwodowych, między innymi w zależności od mechanizmu czy stopnia uszkodzenia. Najważniejszy w komunikacji pomiędzy chirurgiem a diagnostą jest jednak szczegółowy opis obrazu kikotów pni nerwowych, ich odległości oraz miejsca położenia. W okresie pooperacyjnym diagnostyka ultrasonograficzna jest wykorzystywana w celu monitorowania efektów leczenia operacyjnego bądź zachowawczego, w tym do określenia przyczyn utrzymującej się bądź nawrotowej neuropatii. Pozwala na podjęcie decyzji o ponownym zabiegu operacyjnym lub przyjęciu postawy wyczekującej. Jest to dla diagnosty trudne zadanie, wymagające doświadczenia, ścisłej współpracy z klinicystą oraz znajomości technik operacyjnych. W ocenie pooperacyjnej bardzo ważny element badania, poza oceną statyczną, stanowi ocena dynamiczna pod kątem ewentualnych zrostów; jest to cecha wyróżniająca badanie ultrasonograficzne spośród innych metod diagnostyki neuropatii obwodowych.

Key words

peripheral neuropathies, nerve injuries, ultrasound, posttraumatic lesions, postoperative complications, secondary neuropathies

Abstract

The previous articles of the series devoted to ultrasound diagnostics of peripheral nerves concerned the most common nerve pathologies, i.e. entrapment neuropathies. The aim of the last part of the series is to present ultrasound possibilities in the postoperative control of the peripheral nerves as well as in the diagnostics of the second most common neuropathies of peripheral nerves, i.e. posttraumatic lesions. Early diagnostics of posttraumatic changes is of fundamental importance for the course of treatment and its long-term effects. It aids surgeons in making treatment decisions (whether surgical or conservative). When surgical treatment is necessary, the surgeon, based on US findings, is able to plan a given type of operative method. In certain cases, may even abandon the corrective or reconstructive surgery of the nerve trunk (when there are extensive defects of the nerve trunks) and instead, proceed with muscle transfers. Medical literature proposes a range of divisions of the kinds of peripheral nerve injuries depending on, among others, the mechanism or degree of damage. However, the most important issue in the surgeon-diagnostician communication is a detailed description of stumps of the nerve trunks, their distance and location. In the postoperative period, ultrasound is used for monitoring the operative or conservative treatment effects including the determination of the causes of a persistent or recurrent neuropathy. It facilitates decision-making concerning a repeated surgical procedure or assuming a wait-and-see attitude. It is a difficult task for a diagnostician and it requires experience, close cooperation with a clinician and knowledge concerning surgical techniques. Apart from a static assessment, a dynamic assessment of possible adhesions constitutes a crucial element of postoperative examination. This feature distinguishes ultrasound scanning from other methods used in the diagnostics of peripheral neuropathies.

Wstęp

Jeszcze do niedawna diagnostyka patologii nerwów obwodowych opierała się na badaniu klinicznym, badaniach neurofizjologicznych (elektromiografii, EMG) oraz na badaniu techniką rezonansu magnetycznego (MR). Jednak obecnie coraz więcej klinicystów kieruje swoich pacjentów na badanie ultrasonograficzne (USG) celem diagnostyki oraz kontroli efektów leczenia operacyjnego albo zachowawczego. USG staje się również powszechnym narzędziem pracy anestezyjologów i jest wykorzystywane do monitorowania znieczuleń regionalnych. Najczęstsze wskazania do badania USG nerwów obwodowych stanowią neuropatie uciskowe, które były tematem I i II części pracy. Badanie ultrasonograficzne jest stosowane również w diagnostyce urazów i powikłań po leczeniu operacyjnym.

Urazy nerwów

Rozpoznanie uszkodzenia nerwu, zwłaszcza we wczesnym okresie pourazowym, ma fundamentalne znaczenie. Chirurg podejmuje wówczas decyzję o sposobie leczenia, które może być zachowawcze bądź operacyjne. Oczekuje od diagnosty nie tylko określenia zakresu uszkodzenia (całkowite albo częściowe), ale również – w przypadku uszkodzenia całkowitego – oceny stanu kikutów nerwu i ich odległości od siebie.

Badanie USG jest szczególnie istotne przy rozległych urazach kończyn (np. komunikacyjnych czy na maszynach rolniczych), gdzie dochodzi do masywnych uszkodzeń tkanek miękkich, często z ich ubytkami (ryc. 1 A), komplikujących badanie kliniczne. Złamania w przebiegu tych urazów są najczęściej zaopatrywane poprzez zespolenie implantami

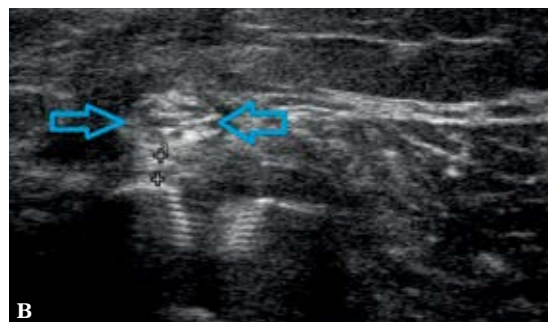
Introduction

Until recently, the diagnostics of peripheral nerve pathologies was based on a clinical examination, neurophysiological examinations (electromyography, EMG) as well as on magnetic resonance imaging (MRI). At present, however, more and more clinicians refer their patients to ultrasound examination (US) for the purposes of both diagnostics and control of the surgical or conservative treatment effects. US is also becoming a common instrument for anesthesiologists and is used for monitoring local anesthesia. Entrapment neuropathies, which were discussed in parts II and III of the series, constitute the most common indication for peripheral nerve US. However, ultrasound examination is also used in the diagnostics of injuries and postoperative complications.

Nerve injuries

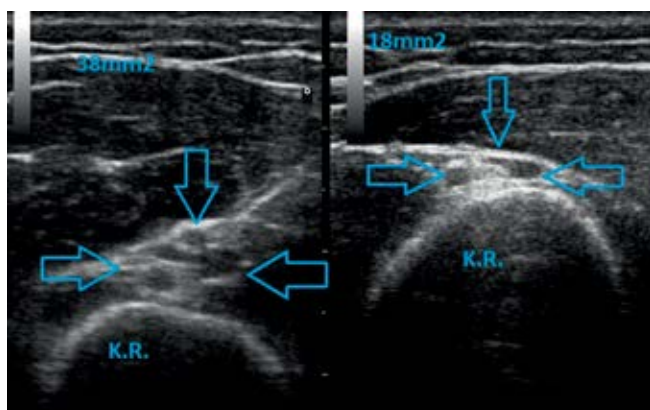
The diagnosis of nerve injury, especially at an early post-traumatic stage, is of fundamental importance. A surgeon decides about the treatment which may be either conservative or surgical. He or she expects that a diagnostician will not only determine the extent of damage (complete or partial), but also, in the case of complete damage, assess the condition of the nerve stumps and their reciprocal distance.

US examination is of particular significance in the case of extensive injuries of the extremities (after traffic accidents or accidents involving agricultural machinery) with resulting massive damage of soft tissues often including its defects (fig. 1 A) that complicate the clinical examination. Fractures resulting from such injuries are usually treated



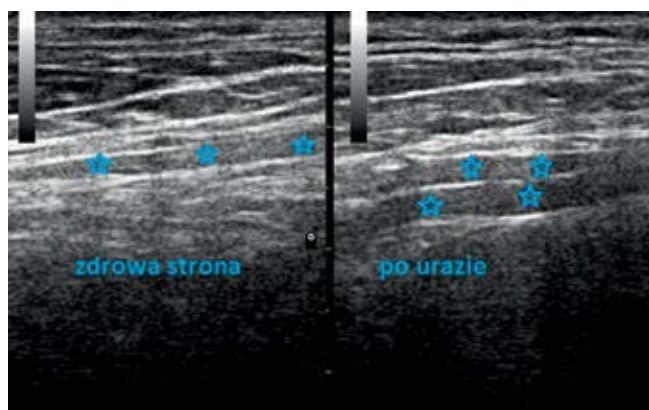
Ryc. 1 A. Masywne uszkodzenie tkanek po urazie komunikacyjnym. **B.** Pień nerwu promieniowego (strzałki) leżący w bliskim sąsiedztwie płyty przykostnej (widoczny gwint otworu na śrubę)

Fig. 1 A. Massive tissue damage after a traffic accident. **B.** Radial nerve trunk (arrows) in a close proximity to the bone plate (a thread for a screw is visible)



Ryc. 2. Neuropraksja nerwu promieniowego (strzałki) u motocyklisty, w wyniku ucisku na nerw na poziomie bruzdy spiralnej przez ochronny naramiennik: pole powierzchni nerwu po stronie chorej – 38 mm², po stronie zdrowej – 18 mm²; K.R. – kość ramienna

Fig. 2. Radial nerve neurapraxia (arrows) in a motorcyclist resulting from the compression of the nerve at the level of the spiral groove by a protective shoulder pad: section area of the compressed nerve – 38 mm², and of the contralateral, unaffected one – 18 mm²; K.R. – humerus



Ryc. 3. Splot barkowy na poziomie mięśni pochylonych z widoczną różnicą ich grubości po stronie zdrowej i chorej (gwiazdki – pnie splotu)

Fig. 3. Brachial plexus at the level of the scalene muscles – visible difference in thickness between normal and affected sides (asterisks – trunks of the plexus)

metalowymi (ryc. 1 B), co zamyka drogę do dalszej diagnostyki EMG czy MR. Ultrasonografia staje się wtedy badaniem z wyboru, zarówno w ocenie wyjściowej, jak i w monitorowaniu przebiegu leczenia.

Istnieje kilka klasyfikacji uszkodzeń, spośród których najbardziej uniwersalna jest podział wg Seddona z 1943 roku⁽¹⁾ oraz Sunderlanda z 1951 roku⁽²⁾.

Klasyfikacja Seddona wyróżnia trzy stopnie uszkodzeń nerwów:

1. *Neuropraxia* – polega na zaburzeniu przewodzenia impulsów nerwowych przez aksony, bez przerywania ich ciągłości (ryc. 2). Jest najłagodniejszą formą uszkodzenia nerwu i najprawdopodobniej wynika ze zmian biochemicznych na poziomie synaps, aczkolwiek istnieją doniesienia wskazujące, iż przyczyną jest uszkodzenie osłonki mielinowej⁽³⁾. Proces regeneracji trwa kilka tygodni.

by metal implant fixation (fig. 1 B) which renders further EMG or MRI examinations impossible. Therefore in such cases, ultrasound becomes a method of choice both in initial assessment and in monitoring the course of treatment.

There are several classifications of injuries, but the division made by Seddon in 1943⁽¹⁾ and by Sunderland in 1951⁽²⁾, are the most universal.

Seddon classification distinguishes three degrees of nerve damage:

1. *Neuropraxia* – consists in the interruption of nervous impulse conduction without the loss of axonal continuity (fig. 2). It constitutes the most benign form of nerve injury and apparently results from biochemical changes at the level of the synapses. Nevertheless, it is also reported that the cause may be the damage of the myelin sheath⁽³⁾. The process of regeneration lasts several weeks.

2. *Axonotmesis* – polega na uszkodzeniu aksonu oraz jego osłonki mielinowej przy zachowaniu ciągłości śródnierwia, onerwia i nanerwia. Histologicznie dochodzi do zmian wstecznych o charakterze degeneracji wallerowskiej (Walleria), z możliwością regeneracji, która następuje spontanicznie i powoli, w tempie 1 mm na dobę. Już po 2–3 tygodniach w zaopatrywanych przez uszkodzone włókna nerwowe mięśniach obserwuje się w EMG zmiany o typie fibrylacji.
3. *Neurotmesis* – jest najpoważniejszym uszkodzeniem nerwu, polegającym na całkowitym przerwaniu struktury aksonów i ich osłonek mielinowych, śródnierwia oraz onerwia. Nanerwie może zachować swoją ciągłość, co śródoperacyjnie będzie imitować zachowaną ciągłość pnia nerwu i dopiero inspekcja chirurgiczna potwierdzi obecność uszkodzenia podosłonkowego.
2. *Axonotmesis* – consists in the injury of the axon and the myelin sheath with the preservation of the continuity of the endoneurium, perineurium and epineurium. Histologically, retrograde changes of Wallerian degeneration occur with possible restoration which proceeds spontaneously and slowly, at the pace of 1 mm per day. After 2–3 weeks, fibrillation changes are observed on EMG in the muscles supported by the damaged nerves.
3. *Neurotmesis* – constitutes the most serious nerve damage consisting in a total severance of the axons and their myelin sheaths as well as of the endoneurium and perineurium. The epineurium, however, may maintain its continuity, which, intraoperatively, may mimic the preserved continuity of the entire nerve trunk. Only upon surgical inspection, can the submyelinic damage be confirmed.

Według klasyfikacji Sunderlanda wyróżnia się pięć stopni uszkodzeń nerwów. W porównaniu z klasyfikacją Seddona stopień I odpowiada *neurotmesis*, a II – *axonotmesis*. Stopień III to przerwanie struktury aksonów oraz śródnierwia przy zachowanej ciągłości onerwia i nanerwia. W stopniu IV zachowane jest jedynie nanerwie, a w stopniu V dochodzi do pełnościennego przerwania pnia nerwu, z widocznymi dwoma oddalonymi od siebie kikutami⁽³⁾.

W urazach typu *neurotmesis* konieczne jest chirurgiczne odtworzenie ciągłości nerwu, optymalnie w pierwszym tygodniu od urazu. Istotną rolę odgrywa tutaj precyzyjna diagnoza, możliwa w badaniu USG. Badanie EMG w tak wczesnej fazie nie jest miarodajne.

Biorąc pod uwagę mechanizmy urazów, można wyróżnić trzy typy uszkodzeń nerwów:

1. rozciągnięcie;
2. zmiążdżenie/stłuczenie (zwane w polskim piśmiennictwie zdlawieniem);
3. przecięcie.

Do uszkodzenia w mechanizmie **rozciągnięcia** dochodzi w czasie zwichnięć stawów (np. w zwichnięciu stawu kolanowego może dojść do uszkodzenia nerwu strzałkowego)^(4,5). W mechanizmie tym dochodzi również do uszkodzenia splotu barkowego w czasie urazu komunikacyjnego na motorze (ryc. 3).

Obraz ultrasonograficzny tego typu uszkodzenia obejmuje szerokie spektrum zmian morfologicznych. W badaniu należy ocenić ciągłość nanerwia, ciągłość i jednorodność budowy pęczkowej nerwu oraz jego unaczynienie. Obrzęk przy zachowanym nanerwie będzie wyrażał się wrzecionowatym pogrubieniem obrysów pnia nerwu. Pomiar pola przekroju na szczycie tego zgrubienia jest najbardziej wiarygodnym, powtarzalnym parametrem, wykorzystywanym w badaniach kontrolnych. Ocena budowy wewnętrznej nerwu nie powinna stwarzać problemu przy zastosowaniu głowic o wysokiej częstotliwości. Przy dobrym obrazowaniu można wręcz określić liczbę uszkodzonych pęczków. Na poziomie ich uszkodzenia będzie widoczny krwiak

In Sunderland classification, five degrees of nerve injury are distinguished. When compared with Seddon classification, the first degree corresponds to neurotmesis and the second to axonotmesis. The third degree is a disruption of the axons and endoneurium with the preservation of the perineurium and epineurium. In the fourth degree, only the epineurium is preserved and in the fifth one, the entire nerve trunk is severed with two stumps visible in a certain distance from each other⁽³⁾.

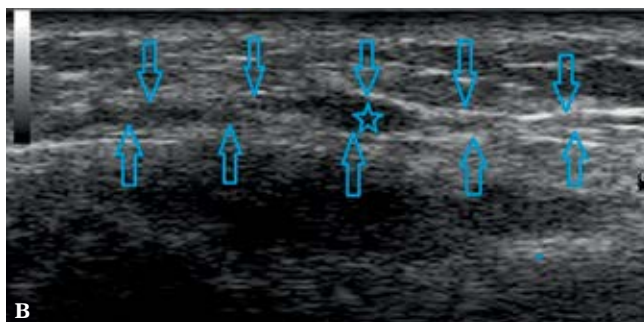
In neurotmesis, surgical reconstruction of the nerve continuity is necessary. Preferably, this should be done in the first week following the injury. A precise diagnosis, which is possible by means of ultrasound, is of vital importance since EMG examination in such an early stage is not reliable.

When taking into account the mechanisms of injuries, three types of nerve injuries may be distinguished:

1. stretching;
2. crushing/bruising [in Polish literature called *choking* (Polish: *zdlawienie*)];
3. severance.

Injuries in the **tension** mechanism may accompany joint dislocations (e.g. in the dislocation of the knee joint the fibular nerve may become damaged)^(4,5). In this mechanism, the brachial plexus may undergo damage during a motor-cycle accident (fig. 3).

The ultrasound presentation of this type of injury encompasses a wide range of morphological changes. During the examination, one should assess the continuity of the epineurium, the continuity and homogeneity of the bundle structure of the nerve and its vascularization. Edema at the preserved epineurium presents itself as a spindle-like thickening of the trunk outlines. The measurement of the sectional area at the apex of this thickening is the most reliable and repeatable parameter used in control examinations. The assessment of the inner structure of the nerve should not pose any problems when high-frequency transducers are applied. In a well-produced image, one can even determine the number of damaged fascicles. At the level



Ryc. 4 A. Zdjęcie śródoperacyjne „nerwiaka w ciągłości” nerwu pośrodkowego na poziomie przedramienia, uniesionego na narzędziu chirurgicznym. **B.** Obraz ultrasonograficzny nerwiaka w ciągłości (gwiazdka) na przebiegu gałęzi powierzchownej nerwu promieniowego (strzałki) po przebytym urazie kompresyjnym

Fig. 4 A. Intraoperative image of “a neuroma-in-continuity” of the median nerve at the level of the forearm lifted by a surgical instrument. **B.** Ultrasound presentation of “a neuroma-in-continuity” (asterisk) on the superficial branch of the radial nerve (arrows) after compressive injury



Ryc. 5 A. Całkowite przecięcie nerwu palcowego, umiesione kikuty nerwu na narzędziu chirurgicznym. **B.** Obraz ultrasonograficzny z widocznymi kikutami nerwu palcowego (gwiazdki), pień nerwu (strzałki)

Fig. 5 A. Complete severance of the digital nerve; nerve stumps are lifted on a surgical instrument. **B.** Ultrasound image with visible stumps of the digital nerve (asterisks); nerve trunk (arrows)

w różnej fazie organizacji, w zależności od czasu, jaki upłynął od urazu.

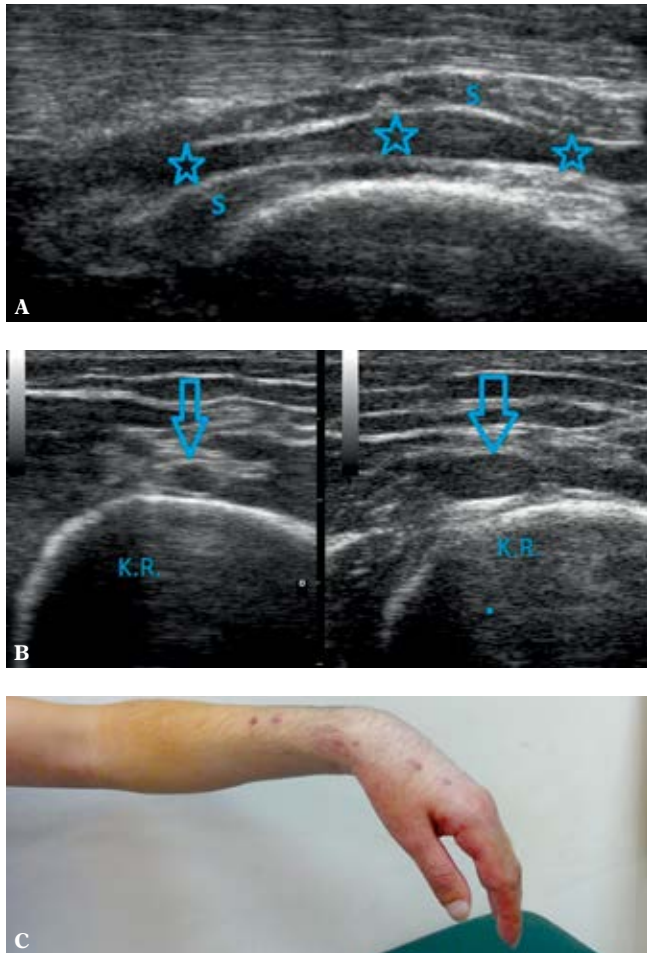
Przy częściowym uszkodzeniu w procesie regeneracji może dojść do wytworzenia „nerwiaka w ciągłości”, który jest zmianą o wrzecionowatym kształcie, modelującą część nieuszkodzonych pęczków (ryc. 4 A, B). Należy ocenić jego długość oraz średnicę. W przypadku przerwania ciągłości nerwu (ryc. 5 A, B) konieczny jest pomiar nie tylko odległości kikutów, ale również odległości pomiędzy odcinkami „zdrowej” tkanki nerwowej. W tym mechanizmie uszkodzenia zmiany obejmują pień nerwu na długim odcinku, z przerwaniem ciągłości poszczególnych pęczków lub włókien na wielu poziomach (ryc. 6 A–C).

Wynik badania USG pozwala na zaplanowanie metody leczenia operacyjnego (zszycie koniec do końca lub – w przypadku konieczności wycięcia długiego odcinka uszkodzonego nerwu – użycie przeszczepu bądź neurotuby; w skrajnych wypadkach transfer nerwu). W czasie badania przedoperacyjnego można jednocześnie ocenić nerw, który potencjalnie zostanie użyty do przeszczepu, pod kątem jego ewentualnych, bezobjawowych patologii, np. łagodnych zmian rozrostowych (ryc. 7) lub wariantów anatomicznych. Przygotowany na nie chirurg będzie mógł skrócić czas zabiegu i ograniczyć niepotrzebne cięcia chirurgiczne.

of damage, a hematoma is visible in various phases of its development depending on the time which lapsed since the injury.

In the case of partial damage, “a neuroma-in-continuity” may arise in the regeneration process. Such a neuroma is a lesion of a spindle-like shape which models a part of intact fascicles (fig. 4 A, B). It is necessary to assess its length and diameter. When the continuity of the nerve is disrupted (fig. 5 A, B), it is essential to measure both the distance between the stumps and the distance between the intact, “healthy” nervous tissue. In this mechanism, the lesions involve a long fragment of the nerve trunk with the disruption of the continuity of particular fascicles or fibers at many levels (fig. 6 A–C).

US findings enable to plan the method of surgical treatment (suturing the ends of the nerves or, if the resection of a long fragment of the damaged nerve is necessary, using a graft or neurotube; in extreme cases, nerve transfer is needed). During a preoperative examination, one may simultaneously assess the nerve which may be used for a potential transplant and check it for possible asymptomatic pathologies such as benign proliferative lesions (fig. 7) or anatomical variants. As a result, a prepared surgeon will be able to perform the procedure faster and reduce unnecessary



Ryc. 6. Pacjent po urazie wielonarządowym z objawami uszkodzenia nerwu promieniowego. Badanie USG uwidoczniło uszkodzenie dwupoziomowe – pnia nerwu promieniowego na poziomie trzonu kości ramiennej oraz gałęzi nerwu międzykostnego tylnego (posterior interosseous nerve, PIN) na poziomie mięśnia odwracacza przedramienia (S). **A.** Przekrój podłużny przez PIN (gwiazdki) na poziomie mięśnia odwracacza – widoczne wyraźne pogrubienie PIN. **B.** Przekrój poprzeczny na poziomie trzonu kości ramiennej – obrzęk i zniesienie struktury nerwu promieniowego (strzałki). K.R. – kość ramienna. **C.** Typowy obraz ręki opadającej

Fig. 6. Patient after multiple organ injury manifesting symptoms of radial nerve injury. US scan shows two-level damage – injury of the radial nerve trunk at the level of the humeral shaft and damage of the branch of the posterior interosseous nerve (PIN) at the level of the supinator muscle of the forearm (S). **A.** Longitudinal section of the PIN (asterisks) at the level of the supinator muscle – clear thickening of the PIN is visible. **B.** Transverse section at the level of the humeral shaft – edema and elimination of the radial nerve structure (arrows). K.R. – humerus. **C.** Typical presentation of a falling hand

Najczęściej używane do przeszczepu są trzy nerwy czuciowe: łydkowy, skórny przyśrodkowy przedramienia oraz skórny przyśrodkowy ramienia⁽⁶⁾.

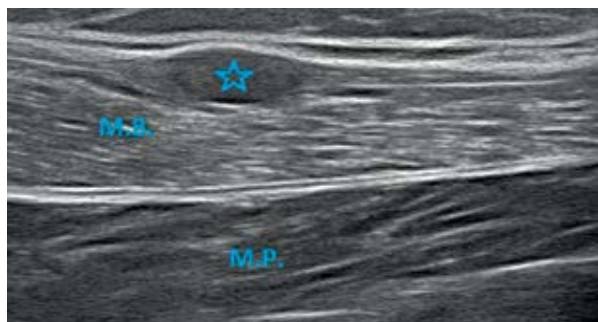
Urazy ze **zmiążdżenia/kompresji** dotyczą najczęściej nerwów leżących bezpośrednio na podłożu kostnym⁽⁷⁾. Obraz uszkodzonego nerwu może być różny w zależności od siły oraz powtarzalności urazu. Niewielkie, powtarzające się urazy będą prowadziły do wrzecionowatego, odczynowego pogrubienia pnia nerwu, zgrubienia/zwłóknienia nanerwia oraz przekrwienia nerwia. Z taką sytuacją mamy do czynienia np. u rowerzystów, u których dochodzi do zmian neuropatycznych gałęzi powierzchownej nerwu łokciowego na poziomie haczyka kości haczykowej (w wyniku mikrourazów o rączkę rowerową). Podobny mechanizm uszkodzenia dotyczy gałęzi głębokiej nerwu strzałkowego na poziomie stępu i występuje u piłkarzy⁽⁸⁾. Uraz pojedynczy, wysokoenergetyczny rzadko prowadzi do przerwania ciągłości nerwu. W badaniu USG widoczne są wówczas ogniskowe lub całkowite zatarcie budowy pęczkowej, obrzęk i przekrwienie nerwu. Samo nanerwie również bywa pogrubiałe (obrzęknięte).

Przecięcie nerwu może być częściowe lub całkowite. W pierwszych dniach po urazie ocenę, zwłaszcza urazu niepełnościennego, może komplikować obrzęk oraz obecność izoechogenicznego krwiaka. W takiej sytuacji badanie

surgical cuts. Nerves which are usually used for transplants are the following three sensory nerves: sural, medial antebrachial cutaneous and medial brachial cutaneous⁽⁶⁾.

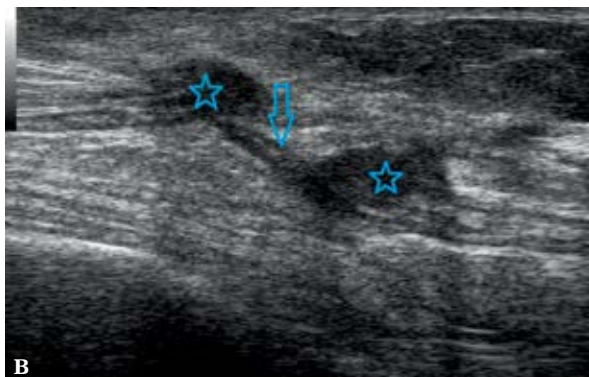
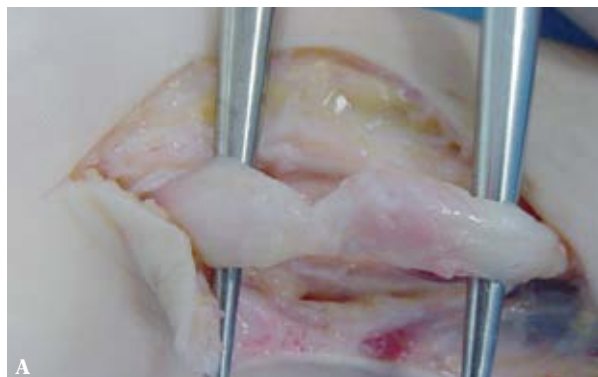
The injuries resulting from **crushing/compression** usually concern the nerves located directly on the bone⁽⁷⁾. The image of the damaged nerve may vary depending on the force and repeatability of the injury. Slight, but repeatable injuries lead to a spindle-shaped, reactive thickening of the nerve trunk, a thickening/fibrosis of the epineurium and hyperemia of the perineurium. This may be observed for instance in cyclists who develop neuropathic changes of the superficial branch of the ulnar nerve at the level of the hook of the hamate bone (as a result of microinjuries against the handlebar). A similar mechanism of the injury concerns the deep fibular nerve at the level of the tarsus and is found in soccer players⁽⁸⁾. A single high-energy injury rarely leads to a disruption of the nerve continuity. On US examination, focal of complete blurring of the bundle structure as well as nerve edema and hyperemia are observed. Sometimes, the epineurium itself is also thickened (swollen).

Nerve **damage** may be partial or complete. In the first days following the injury, especially following a non-transmural injury, the accurate assessment may be prevented by edema and the presence of isoechoic hematoma. In such a situation the examination should be repeated after several



Ryc. 7. Bezobjawowy, przypadkowo odkryty nerwiak nerwu łydkowego (gwiazdka) na przekroju podłużnym. M.B. – mięsień brzuchaty łydki, M.P. – płaszczkowaty

Fig. 7. Asymptomatic neuroma of the sural nerve (asterisk) detected incidentally, on a longitudinal section. M.B. – gastrocnemius muscle; M.P. – soleus muscle



Ryc. 8 A. Śródoperacyjny obraz uszkodzenia nerwu pośrodkowego na poziomie nasady dalszej przedramienia. **B.** Obraz USG uszkodzenia nerwu łokciowego na poziomie przedramienia, nerwiaki kikutów (gwiazdki), łącząca je tkanka bliznowata (strzałka)

Fig. 8 A. Intraoperative image of the median nerve at the level of the distal epiphysis of the forearm. **B.** US image of the injury to the ulnar nerve at the level of the forearm; neuromas on the stumps (asterisks) and scar tissue which joins them (arrow)



Ryc. 9. Obraz ultrasonograficzny nerwu łokciowego (gwiazdki) wypchniętego poza bruzdę nerwu łokciowego (bruzda n.ł.) na szczyt nadkłykcia przyśrodkowego; uwypuklony zachyłek stawu wypełniony płynem stawowym (trójkąty). Stan po złamaniu nasady dalszej kości ramiennej, z przemieszczeniem odłamów

Fig. 9. US image of the ulnar nerve (asterisks) moved beyond the groove to the apex of the medial epicondyle; protruding joint recess filled with synovial fluid (triangles). After the fracture of the distal epiphysis of the humerus with the dislocation of bone fragments

należy powtórzyć po kilku dniach, aby w ciągu pierwszego tygodnia ustalić ostateczne rozpoznanie. Zwiększy to szansę na powrót funkcji nerwu przy wczesnej interwencji chirurgicznej⁽³⁾.

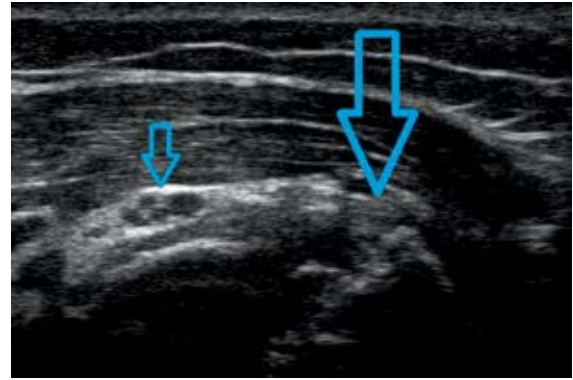
W przypadku częściowego uszkodzenia nerwu obserwuje się odcinkowe, niepełnościennne przerwanie ciągłości nanerwia oraz części pęczków nerwowych (ryc. 8 A, B). We wczesnej fazie pourazowej należy spodziewać się obrzęku, obecności organizującego się krwiaka oraz przekrwienia nerwu. Z czasem będzie dochodziło do tworzenia regeneratu składającego się z tkanki nerwowej i łącznej. Przy niekorzystnym zejściu procesu gojenia częściowego uszkodzenia powstanie „nerwiak w ciągłości”.

Przy całkowitym (pełnościennym) uszkodzeniu pnia nerwu końce kikutów mogą przylegać do siebie, imitując zachowaną ciągłość. Wskazany jest wówczas dozowany

days so as to establish an accurate diagnosis not later than within the first week following the injury. This will increase the chance to restore proper functions of the nerve by means of an early surgical intervention⁽³⁾.

In the case of a partial injury to the nerve, one may observe a fragmentary, non-transmural disruption of the epineurium and a part of nervous fascicles (fig. 8 A, B). In an early posttraumatic phase, edema, developing hematoma and nerve hyperemia are expected to appear. In time, a regenerate will be formed of nervous and connective tissues. When the outcome of the healing process of a partial injury is unfavorable, “a neuroma-in-continuity” may appear.

In the case of a complete (transmural) injury of the nerve trunk, the ends of the stumps may adhere to each other and thus, mimic a preserved continuity. It is indicated then, to apply pressure with the transducer which will cause their



Ryc. 10. Przekrój podłużny (A) i poprzeczny (B) pnia nerwu promieniowego (małe strzałki) w bezpośrednim sąsiedztwie stawu rzekomego trzonu kości ramiennej (duża strzałka)

Fig. 10. Longitudinal (A) and transverse (B) sections of the radial nerve trunk (little arrows) adjacent to the pseudarthrosis of the humeral shaft (large arrow)

docisk głowicą, który spowoduje ich separację i wywoła paradoksalny ruch względem siebie. Z czasem na końcach kikutów dochodzi do wytworzenia nerwiaków. Bywa, że kikuty oraz ich nerwiaki są wciągane w blizny przylegających struktur mięśniowych czy powięziowych (ryc. 9). Rolą badania USG będzie w takiej sytuacji precyzyjne określenie ich położenia, co w znacznym stopniu ułatwi zaplanowanie cięcia chirurgicznego. Można zaznaczyć flamastrem położenie kikutów na skórze pacjenta bezpośrednio przed jego wizytą u chirurga albo wykonać dokumentację zdjęciową.

Na szczególną uwagę przy omawianiu urazów nerwów obwodowych zasługuje nerw promieniowy. Najczęstszą przyczyną jego patologii są złamania kości ramiennej i konsekwencje ich leczenia. Nerw może ulec uszkodzeniu w momencie złamania, dostając się pomiędzy odłamy kostne. Do neuropraksji może dojść w trakcie zabiegu operacyjnego, kiedy nerw jest odsuwany przez asystę chirurgiczną na tzw. lejcach – wówczas przy długim zabiegu lub zbyt silnej trakcji dochodzi do jego niedokrwienia. Podobne ryzyko stwarza długi ucisk przez mankiety ciśnieniowe w czasie zabiegów operacyjnych w niedokrwieniu czy specyficzna pozycja ręki w czasie snu („zespół sobotniej nocy”). W przypadku zespolenia złamania z użyciem płyty przykostnej może dojść do usidlenia nerwu pomiędzy płytą a kością lub pomiędzy śrubą a płytą. Kolejnym niebezpiecznym dla tego nerwu etapem gojenia jest nadbudowa kości w miejscu złamania i jej deformacja z tworzeniem mankietu kostnego, zwanego kallusem. Bywa, iż wciąga on nerw promieniowy i obudowuje go warstwą kostną^(3,6). W przypadku braku zrostu kostnego może dojść do wytworzenia hipertroficznego stawu rzekomego z mankietem tkanki włóknistej (ryc. 10 A, B).

Ocena pooperacyjna nerwów

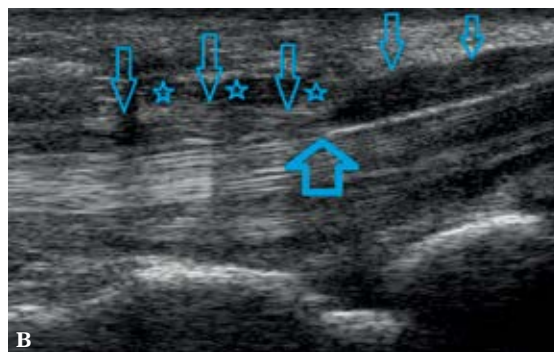
Ocena ultrasonograficzna nerwów po zabiegach operacyjnych wymaga dużego doświadczenia. Często obraz nerwu jest diametralnie zmieniony, co wynika z fizjologii gojenia tkanek miękkich z tworzeniem blizny. Przed przystąpieniem do badania diagnosta powinien dysponować pełnym

separacji i indukuje paradoksalny ruch względem siebie. W tym czasie, na końcach kikutów, mogą się tworzyć nerwiaki. Czasami kikuty i ich nerwiaki są wciągane do blizn sąsiadujących struktur mięśniowych lub powięziowych (ryc. 9). W takiej sytuacji rolę badania USG jest precyzyjne określenie ich położenia, co znacznie ułatwi zaplanowanie cięcia chirurgicznego. Można zaznaczyć na skórze pacjenta położenie kikutów przed jego konsultacją z chirurgiem lub wykonać dokumentację fotograficzną.

When discussing the injuries of peripheral nerves, particular attention needs to be drawn to the radial nerve. The most common causes of its pathologies are humeral bone fractures and the consequences of their management. The nerve may undergo damage at the moment of bone breaking when it becomes surrounded by fragments of the fractured bone. Neurapraxia may appear during a surgical procedure when the nerve is retracted by the surgeon assistant by means of, so called, marking bands. A long procedure or too strong traction may lead to ischemia of the nerve. Similar risk is posed by a prolonged pressure applied by the pressure cuff during surgical procedures or a specific position of the arm during sleep (“Saturday night palsy”). Moreover, when the fracture is fixed by means of a bone plate, a nerve may become entrapped between the plate and bone or between the screw and plate. Another hazardous phase of the healing process is the bony build-up at the site of the fracture and the deformation of the bone with the appearance of a bone collar, known as callus. Sometimes, it pulls the radial nerve in and surrounds it with bony build-up^(3,6). In the case of a nonunion of the fractured bone, a hypertrophic pseudarthrosis with fibrous tissue cuffs may appear (fig. 10 A, B).

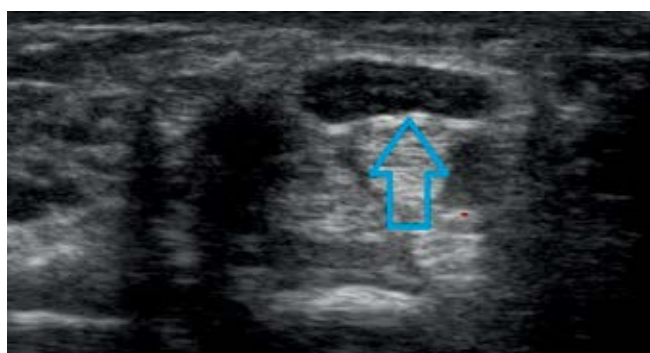
Postoperative nerve evaluation

Ultrasound evaluation of nerves after surgical procedures requires extensive experience. The image of the nerve is frequently considerably changed which results from the healing physiology of soft tissues with scar formation. Prior to the examination, a diagnostician should have



Ryc. 11 A. Obraz śródoperacyjny pozostawionej części włókien więzadła poprzecznego kanału nadgarstka, stanowiących przyczynę utrzymującego się ucisku na nerw. **B.** Pooperacyjny obraz ultrasonograficzny u pacjenta z utrzymującymi się objawami zespołu cieśni kanału nadgarstka: pozostawione włókna więzadła poprzecznego (gwiazdki), nerw pośrodkowy (strzałki), utrzymujący się objaw „wcięcia” (gruba strzałka)

Fig. 11 A. Intraoperative image of the fibers of the transverse carpal ligament left after a procedure, which constitute a cause of persistent nerve compression. **B.** Postoperative ultrasound image in a patient with persistent symptoms of carpal tunnel syndrome: the fibers of the transverse carpal ligament left inside after a surgery (asterisks), the median nerve (arrows), persisting “notch” sign (thick arrow)



Ryc. 12. Utrzymujące się zmiany degeneracyjne w nerwie pośrodkowym (strzałka) pomimo plastyki więzadła poprzecznego kanału nadgarstka. Pacjentka z wieloletnimi objawami neuropatii uciskowej nerwu pośrodkowego. Po zabiegu bóle nocne ustąpiły, jednak pozostała niedoczulica opuszek palców I–III

Fig. 12. Persistent degenerative changes in the median nerve (arrow) despite the transverse carpal ligament reconstruction. Patient with long-lasting symptoms of the median nerve compression neuropathy. After the procedure, night pains stopped, but hypoesthesia of the pulps of fingers I–III persisted

wglądem w dokumentację na temat techniki przeprowadzonego zabiegu.

Po zabiegach odbarczenia zespołów uciskowych należy oceniać ciągłość nerwa, ciągłość budowy pęczkowej oraz radykalność zabiegu, zwracając uwagę na ewentualnie pozostawione pasma włókniste, uciskające na nerw, np. niecałkowicie przecięte więzadło poprzeczne kanału nadgarstka (ryc. 11 A, B). Przekrwienie i obrzęk nerwu mogą się utrzymywać przez wiele tygodni. We wczesnym okresie pooperacyjnym patologią będą wszystkie przestrzenie płynowe w bezpośrednim sąsiedztwie nerwu oraz ziarnina zapalna.

W przypadku odbarczenia wieloletnich zespołów uciskowych nie zawsze obserwuje się powrót prawidłowej echostruktury pęczkowej nerwu, mimo poprawy klinicznej (ryc. 12).

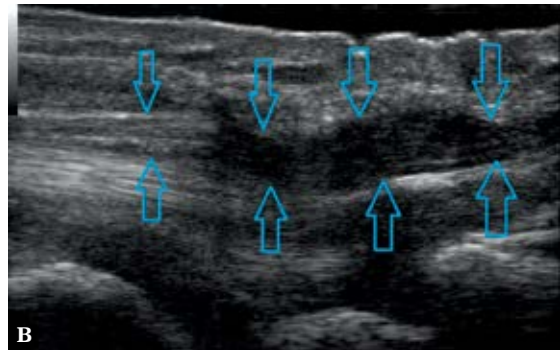
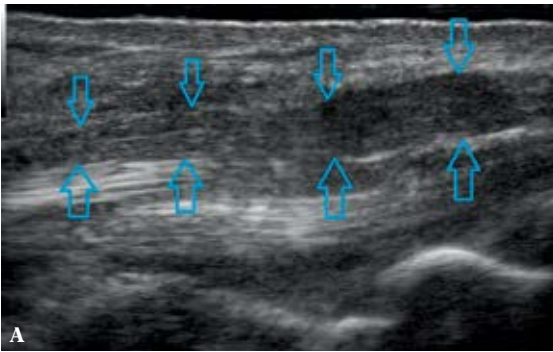
W przypadku szycia uszkodzonego nerwu „koniec do końca” widoczna jest blizna jednopoziomowa, zaś po użyciu przeszczepu czy neurotuby blizny będą obecne na dwóch poziomach. Prawidłowym obrazem pooperacyjnym jest łagodne wrzecionowate poszerzenie obrysu pnia nerwu w miejscu jego szycia. W przypadku użycia głowic o wysokich częstotliwościach na wysokości zespolenia doskonale widoczne są drobne hiperechogeniczne punkty, odpowiadające szwom mikrochirurgicznym. Nerwiak powoduje

access to a complete documentation concerning the conducted surgery.

After surgery in entrapment syndromes, it is essential to assess the continuity of the epineurium, the continuity the bundle structure as well as the radical character of the procedure. One should pay attention to possible fibrous bands remaining after the procedure, which may compress the nerve e.g. the transverse carpal ligament that is not completely cut (fig. 11 A, B). Hyperemia and edema of the nerve may persist for many weeks. In the early postoperative period, all fluid collections in direct surrounding of the nerve and inflammatory granulation will indicate a pathology.

In the case of surgery of entrapment syndromes, which were not treated for many years, the return of correct bundle echostructure of the nerve is not always observed despite clinical improvement (fig. 12).

If the ends of the nerve were sutured, one-level scar is visible. When, however, a graft or neurotube were used, scars are present at two levels. A slight spindle-like thickening of the nerve trunk outlines at the site of the sutures is a correct postoperative presentation. When high-frequency transducers are used, slight, hyperechoic points are clearly visible at the level of the junction. They correspond to microsurgical sutures. A neuroma causes considerable widening of the nerve outlines, which may be irregular, and results



Ryc. 13. Zrosty nerwu pośrodkowego (między strzałkami) z przylegającymi tkankami powodują efekt marszczenia nerwu w próbie dynamicznej; faza wyprostowania nadgarstka (A) i zgięcia dłoniowego (B)

Fig. 13. Median nerve adhesions (between arrows) with adjacent tissues cause the “wrinkling” effect in the dynamic examination; extension of the wrist (A) and hand flexion (B)



Ryc. 14. Stan po transpozycji nerwu łokciowego z wtórnymi objawami neuropatii. Zagięcie (strzałka) nerwu (gwiazdki) w miejscu wnikania pomiędzy głowy mięśnia zginacza łokciowego nadgarstka

Fig. 14. After the transposition of the ulnar nerve with the symptoms of secondary neuropathy. Bending (arrow) of the nerve (asterisks) at the site where it enters between the heads of the flexor carpi ulnaris muscle

znaczne poszerzenie zarysów nerwu, czasem nieregularne, i zaburzenie jego wewnętrznej echostruktury. Nie zawsze obejmuje nerw na całym przekroju, a jedynie pojedyncze pęczki. W opcji dopplerowskiej wykazuje cechy wzmożonego unaczynienia.

Stałym i niezwykle istotnym elementem oceny pooperacyjnej jest badanie dynamiczne, w czasie którego na przekroju podłużnym obserwuje się ślizg nerwu względem przylegających tkanek. O obecności zrostów świadczy „zaciąganie” tkanek, a w skrajnym przypadku – „marszczenie” nerwu⁽⁵⁾ (ryc. 13 A–C).

W ocenie pooperacyjnej nerwu łokciowego należy pamiętać o technice transpozycji nerwu na przednią powierzchnię kłykcia kości ramiennej. W badaniu USG nerw będzie doskonale widoczny na pograniczu tkanki podskórnej i powięzi, na przednim obrysie nadkłykcia. Należy zwrócić wówczas szczególną uwagę na potencjalne miejsce zagięcia proksymalnego odcinka transponowanego nerwu, na poziomie więzadła łukowatego względem odcinka leżącego pomiędzy głowami mięśnia zginacza łokciowego nadgarstka. Duży stopień zagięcia może być przyczyną wtórnego zespołu neuropatycznego⁽³⁾ (ryc. 14).

in disturbances of its internal echostructure. Not always does it involve the entire section of the nerve; sometimes it affects only single fascicles. On Doppler examination, it shows enhanced vascularization.

A permanent and crucial element of postoperative assessment is a dynamic examination during which a slide of the nerve in relation to adjacent tissues is observed in a longitudinal section. So called “tightening” of the tissues or, in extreme cases, “wrinkling” of the nerve attest to the presence of adhesions⁽⁵⁾ (fig. 13 A–C).

In a postoperative assessment of the ulnar nerve, one should remember about the technique of nerve transposition to the anterior surface of the condyle of the humerus. During US examination, the nerve will be clearly visible on the border of the subcutaneous tissue and fascia on the anterior outline of the epicondyle. Particular attention should be paid to the potential bending site of the proximal fragment of the transposed nerve at the level of the arcuate ligament in relation to the fragment located between the heads of the flexor carpi ulnaris muscle. Considerable degree of such a bending may constitute a cause for the appearance of a secondary neuropathic syndrome⁽³⁾ (fig. 14).

Podsumowanie

Badanie USG, obok badań neurofizjologicznych oraz badania MR, należy do badań dodatkowych przeprowadzanych w diagnostyce patologii nerwów obwodowych. Przy użyciu wysokiej klasy aparatury i głowic o wysokich częstotliwościach ultrasonografia umożliwia ocenę pnia danego nerwu na praktycznie całej długości (w przeciwieństwie do MR, gdzie oceniany jest jedynie wybrany odcinek). Dodatkowo w czasie badania można skorelować obraz USG z punktem największej bolesności. Można wykonać badanie dynamiczne oraz porównawcze ze stroną kontralateralną. W ocenie nerwów należy posługiwać się objawami bezpośrednimi, ale także, pomocniczo, pośrednimi (obraz zaopatrywanych przez nerwy mięśni), ilościowymi oraz jakościowymi. Znajomość powyższych kryteriów oceny wraz z wiedzą anatomiczną oraz znajomością technik operacyjnych sprawia, że doświadczony diagnosta jest w stanie zróżnicować przyczynę neuropatii, precyzyjnie określić jej lokalizację i zakres. Pozwala to na zaplanowanie leczenia i monitorowanie jego przebiegu.

Konflikt interesów

Autorki 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.

Conclusion

US scan, together with neurophysiological examinations and MRI, belongs to additional examinations performed in the diagnostics of peripheral nerve pathologies. When high quality apparatus and high-frequency transducers are used, ultrasound allows for an assessment of the entire nerve trunk (as opposed to MRI, where only a selected fragment may be evaluated). Additionally, during US examination, one may correlate the US image with the most painful site. Furthermore, dynamic examination and comparison with the contralateral site may be conducted. When assessing nerves, one should take into account not only the direct symptoms, but also indirect (imaging of the muscles innervated by the assessed nerves), quantitative and qualitative ones. Being familiar with the aforementioned assessment criteria together with the knowledge of anatomy and surgical techniques enable an experienced diagnostician to differentiate between the reasons of neuropathies as well as to precisely determine their location and extent. This, in turn, allows for planning the treatment and monitoring its course.

Conflict of interest

Authors do not report any financial or personal links with other persons or organizations, which might affect negatively the content of this publication and/or claim authorship rights to this publication.

Piśmiennictwo/References

1. Seddon H: Surgical Disorders of the Peripheral Nerves. Churchill Livingstone, Edinburgh 1975.
2. Sunderland S: Nerves and Nerve Injuries. Churchill Livingstone, Edinburgh 1978.
3. Banach M, Bogucki A (red.): Zespoły z ucisku – diagnostyka i leczenie. Medycyna Praktyczna, Kraków 2003.
4. Gruber H, Peer S, Meirer R, Bodner G: Peroneal nerve palsy associated with knee luxation: evaluation by sonography – initial experiences. AJR Am J Roentgenol 2005; 185: 1119–1125.
5. Bianchi S, Martinoli C: Ultrasonografia układu mięśniowo-szkieletowego. Tom II, Medipage, Warszawa 2009.
6. Bianchi S, Martinoli C: Ultrasonografia układu mięśniowo-szkieletowego. Tom I, Medipage, Warszawa 2009.
7. Tagliafico A, Altafini L, Garello I, Marchetti A, Gennaro S, Martinoli C: Traumatic neuropathies: spectrum of imaging findings and postoperative assessment. Semin Musculoskelet Radiol 2010; 14: 512–522.
8. Toth C: Peripheral nerve injuries attributable to sport and recreation. Phys Med Rehabil Clin N Am 2009; 20: 77–100.