

# Medizin

## Zeit kostet Nerven

**OP-Nachwehen.** Iatrogene Nervenläsionen können im Zuge operativer Eingriffe entstehen. Je nach Lokalisation und zugrunde liegender Problematik äußern sie sich häufig unmittelbar danach. Dennoch werden damit assoziierte Symptome und Komplikationen spät mit der Operation in Zusammenhang gebracht. Oft zu spät.

**Von Sonja Streit**

Primum nihil nocere! Wer chirurgisch auf einen menschlichen Körper einwirkt, tut dies vor allem unter der Prämisse, dem Patienten zu helfen, niemals ihm zu schaden. Allerdings ist auch der geschickteste Operateur niemals komplett davor gefeit, unbeteiligte Strukturen bei einer Operation zu verletzen. Handelt es sich bei diesen um periphere Nerven, kann das schwerwiegende Folgen haben. Zu diesen zählen chronische Schmerzen ebenso wie funktionelle Beeinträchtigungen.

**Das Skalpell ist nicht immer schuld**  
Da sich das periphere Nervensystem (PNS) gleich einem Stromnetz durch den Körper zieht, ist es verletzlich, zumal nicht jeder Nerv ausreichend geschützt oder „gepolstert“ ist und beispielsweise durch Knochen und Gelenken eingeengt und manchmal sogar gequetscht wird.

In den meisten Fällen kommt es in solchen Fällen zu neuropathischen Schmerzen. Das periphere Nervensystem, das die Erfolgsorgane versorgt und aus sensorischen, sensiblen und motorischen Nerven besteht, wird dabei selbst zur Ursache von Beschwerden. Von Nervenschmerz Betroffene leiden entweder ständig oder immer wieder unter dumpfen, elektrischen, stechenden sowie kribbelnden Schmerzen, die in ihrer Stärke variieren und mit Parästhesien, Hyperalgesie, Allodynie,

Hyper- und Hypästhesien sowie motorischen Schwächen und Demyelinisierung vergesellschaftet sein können.

Die iatrogenen Schädigungsmechanismen peripherer Nerven sind vielfältig, wie der Facharzt für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie, Dr. Stefan Salminger, erläutert: „Iatrogene Nervenverletzungen sind nicht ausschließlich dem chirurgischen Schnitt geschuldet, etwa wenn versehentlich ein Nerv durchtrennt wird. Vielmehr kann es schon bei der Lagerung des Patienten auf dem Operationstisch zu Problemen kommen. Drückt beispielsweise ein Gips dauerhaft auf einen Nerv oder entstehen Hitzeschäden im Rahmen einer zementierten Hüftendoprothese, kann dies genauso entsprechende Beeinträchtigungen nach sich ziehen.“ Der Ner-

**Oft ist es nur ein kleiner Fingerzeig,** der auf eine missglückte Operation hindeutet. Wichtig ist es, diesen zu erkennen und Bedeutung zuzumessen.

© AlienCat / stock.adobe.com



Wie sich eine iatrogene Nervenverletzung letztlich äußert, hängt von den betroffenen Nerven ab.

**Dr. Stefan Salminger**  
Abteilung für Plastische und Rekonstruktive Chirurgie der Universitätsklinik für Chirurgie, MedUni Wien,  
„Researcher of the Month, September 2020“

venchirurg, der im AUVA-Traumazentrum am Lorenz Böhler in Wien für rekonstruktive Eingriffe an den Extremitäten zuständig ist, nennt ebenso Blutsperrern, Haken, Nähte, Punktionsnadeln oder Schienen als Gefahrenquellen.

**Unklarheiten benötigen Experten**

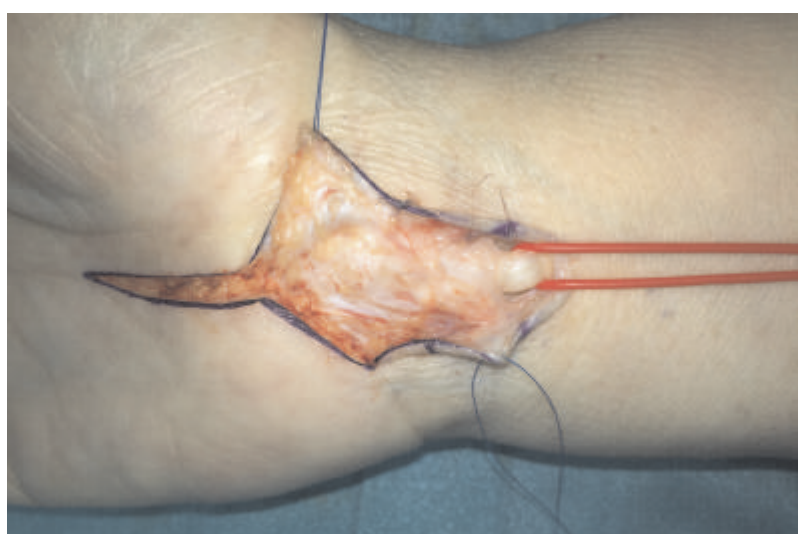
Kommt es zu einer traumatischen Schädigung eines peripheren Nerven, können sowohl das Axon, die Myelinscheide als auch Perineurium und Epineurium, also die bindegewebigen Begleitstrukturen der Nerven, ganz oder teilweise durchtrennt werden. Man spricht in diesem Fall von Neurotmesis. Wird das Axon abgeschnitten, die Myelinscheide der Schwann-Zellen beschädigt, während gleichzeitig Endoneurium, Perineurium und Epineurium erhalten bleiben, liegt eine Axonotmesis vor.

Es kann in solchen Fällen zu Muskelatrophien, Paresen und Störungen der Sensibilität kommen.

„Wie sich eine iatrogene Nervenverletzung letztlich äußert, hängt von den betroffenen Nerven ab“, erläutert Salminger. „Vor allem direkt postoperativ lässt sich selten feststellen, ob die Schmerzen oder Empfindungsstörungen erwartbare Operationsfolgen sind oder ob es sich um eine Nervenverletzung handelt. Viele Symptome können nicht immer klar zugeordnet werden. Außerdem muss man über die notwendige Expertise verfügen, um periphere Nervenläsionen richtig einzuordnen.“

Ist ein motorischer Nerv beeinträchtigt, deuteten postoperative Lähmungserscheinungen darauf hin, dass eine Nervenläsion vorliegt.

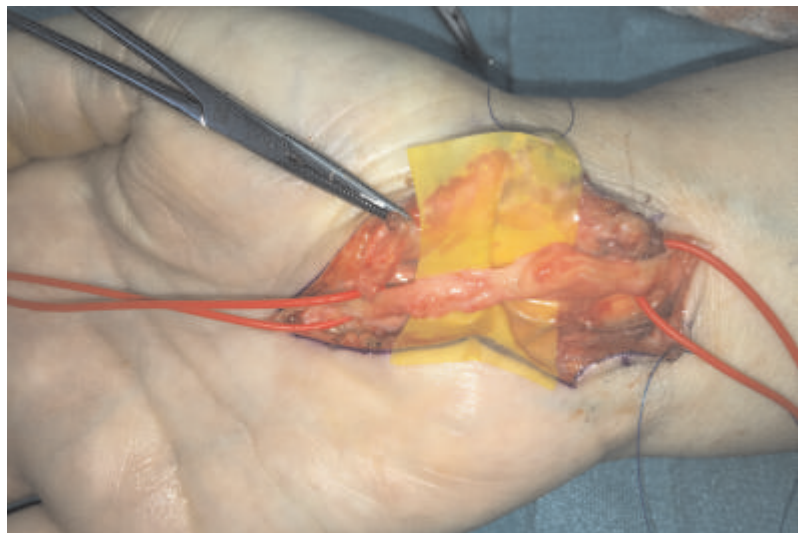
Lesen Sie bitte weiter auf **Seite 7**



**Bild 1:** Zustand nach CTS-OP rechts, aus der eine Nervenverletzung mit Narbenbildung resultierte. Die Patientin berichtete über massive Schmerzen und Gefühlsstörungen.



**Bild 2:** Angeschlungener vernarbter und verletzter N. medianus nach CTS-OP rechts. © (3) Dr. Stefan Salminger



**Bild 3:** Darstellung des N. medianus nach Entfernung des Narbengewebes.

Fortsetzung von Seite 6

Bei sensiblen Nerven sei dies deutlich schwieriger, schließlich müsse man muss zwischen dem normalen postoperativen Schmerzniveau und neuropathischen Schmerzen differenzieren, sagt Salminger. Und: „Aber auch Lähmungen sind keineswegs sofort ersichtlich, die Patienten nehmen nach einem Eingriff oft eine Schonhaltung ein, weshalb sich Ausfälle erst im Laufe der Zeit zeigen.“

#### Keine Zeit für Zweifel

Nervenschäden seien nicht immer zu verhindern, gerade deshalb sollten Behandler stets wachsam sein. „Wo gehobelt wird, fallen Späne. Selbst Operationen, die häufig durchgeführt werden, können Nervenläsionen nach sich ziehen. Bestes Beispiel dafür ist die Karpaltunnelsplattung, in deren Rahmen der N. medianus und dessen Ramus palmaris verletzt werden können.“ Wichtig sei, dem Patienten schnellstmöglich jene Behandlung zukommen zu lassen, die eine vollständige Rekonstruktion gewährleiste.

„Es sollte keinem Mediziner unangenehm sein, einen Patienten an entsprechende Stellen zu verweisen und das Vorliegen einer iatrogenen Nervenverletzung zumindest in Betracht zu ziehen. Die Zeit ist in solchen Fällen ein kritischer Faktor, weshalb beim geringsten Verdacht, spezialisierte Mediziner zurate gezogen werden sollten“, so Salmingers Appell.

#### Adäquat (be)handeln

Dank moderner Technik und vorhandener Expertise lässt sich der neuropathische Schmerz und seine Ursache in vielen Fällen nachweisen. Ein unverzichtbares Diagnosetool ist die hochauflösende Sonografie, mit der sich selbst kleinste Nervenfasern und ihre Umgebung darstellen lassen. Im Zuge der Diagnose iatrogenen Nervenläsionen wird diese von

Magnetresonanztomografie (MRT), Nervenleitgeschwindigkeitsmessung (NLG) und Elektromyografie (EMG) ergänzt. Des Weiteren können neurologische Untersuchungen wie der Sensibilitätstest oder die Elektroneurografie herangezogen werden. Klinische Überprüfungen wie Flaschen-, Phalen- oder Hoffmann-Tinel-Test stehen ebenso zur Verfügung, wie eine ausführliche Anamnese und die Kontaktaufnahme mit dem Erstbehandler

„Der Behandlungserfolg hängt bei Verletzungen motorischer Nerven maßgeblich davon ab, wieviel Zeit zwischen Läsion und der Rekonstruktion vergeht“, sagt Salminger, „ebenso wie Art und Ausmaß der Schädigung.“

Der Experte weist darauf hin, dass desgleichen ein plötzlich einschließender, elektrisierender Schmerz, von dem der Patient erst nach einiger Zeit berichtet, auf eine Nervenläsion hindeuten könne. „Nervenschmerz wird ganz unterschiedlich wahrgenommen und äußert sich auf vielfältige Weise. Es gilt, wachsam zu sein und entsprechend zu agieren.“

Ist eine chirurgische Rekonstruktion einer peripheren Nervenläsion indiziert, sollte diese im Idealfall nach etwa drei Monaten durchgeführt werden. „Im Regelfall wartet man etwa sechs Wochen, um beurteilen zu können, ob sich der Nerv möglicherweise wieder erholt. Würde er beispielsweise überdehnt, kann er sich regenerieren, was im hochauflösenden Ultraschall sichtbar wird, weshalb dieser in regelmäßigen Abständen zur wei-

teren Verlaufskontrolle herangezogen werden sollte.

#### Zeit tranchiert Muskel

Je nach Lage und Verletzungsart können auch Muskeln betroffen sein, die ohne Rekonstruktion innerhalb des ersten Jahres nach der Schädigung irreversibel atrophiert sind und sich nicht mehr vollständig erholen. „In solchen Fällen sind Sehnen- oder Muskeltransfers indiziert. Meist werden iatrogene Nervenschäden intraoperativ nicht erkannt und oft erst Monate später im Rahmen einer sekundären Rekonstruktion behoben. Je nach Schädigungsmechanismus bildet sich in den ersten Wochen bis Monaten eine Narbe um den Nerv. Steigt man da zu früh chirurgisch ein, lässt sich das Ausmaß des Schadens kaum einschätzen. Druck- oder Dehnungsschäden werden deshalb erst nach erfolgter Narbenbildung operiert, falls nötig.“ Die meisten Patienten konsultieren einen Spezialisten bedauerlicherweise eher zu spät als zu früh, so Salminger. „In der Regel sind dann bereits mehrere Monate vergangen, was die Prognose deutlich verschlechtert.“

Welche Interventionen erforderlich sind, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Zur Verfügung stehen Verfahren wie Neurotomie oder Neurektomie, Neurolyse, aber auch die Nerventransposition oder Nerventransfers. Aber was auch immer passiert: Unabdingbar ist, iatrogene Nervenverletzungen möglichst früh zu erkennen und zu behandeln. Dies macht eine interdisziplinäre Zusammenarbeit unumgänglich und führt zu einer bestmöglichen Versorgung Betroffener, die nicht nur physisch, sondern auch psychisch leiden. ■

## Neuromuskuläre Freundschaft

**Nervenelektroden.** Das EU-Projekt EXTEND entwickelt Technologien minimal-invasiver neuronaler Schnittstellen, um pathologischen Tremor zu reduzieren. Erste Ergebnisse zeigen eine akute und über 24 Stunden anhaltende Tremor-Reduktion, was den Weg zu alternative Therapien eröffnen könnte.

Für Gehirn- und neuronale Schnittstellenprogramme bestehen erhebliche Einschränkungen, denn Technologien für Menschen, die an neuromuskulären Defiziten leiden, sind derzeit nicht ausreichend vorhanden. Nicht-invasive neuronale Schnittstellentechnologien, wie EEG oder EMG, sind von Natur aus unidirektional und von begrenzter Alltagstauglichkeit und Leistungsfähigkeit. Auf der anderen Seite erlauben invasivere Schnittstellen (wie z. B. implantierte Nervenelektroden) zwar Bidirektionalität und robustere multilokuläre Signale, sind aber immer noch auf chirurgische Eingriffe und komplexe Signalverarbeitung angewiesen.

Seit Anfang des Jahres 2018 entwickeln die Partner des EU-Verbundprojekts EXTEND ein neuartiges Konzept bidirektionaler, hypervverbundener neuronaler Systeme (BHNS – Bidirectional Hyper-connected Neural Systems), um die Möglichkeiten neuronaler Schnittstellen durch minimal-invasive Verbindungen zwischen mehreren Nerven und mehreren externen Geräten zu erweitern. Dabei hat sich EXTEND das Ziel gesetzt, BHNS durch die Entwicklung einer disruptiven, drahtlosen neuromuskulären (injizierbaren) Schnittstellentechnologie zu realisieren. Das ermöglicht eine verteilte Stimulation, Erfassung, Verarbeitung und Analyse der neuromuskulären Aktivität, die letztlich den neuronalen Code der Bewegung darstellt.

#### Tremor-Management und Exoskelette bei Rückentraumata

Die Vorteile der BHNS werden in zwei Anwendungen gezeigt. Die erste ist das Tremor-Management bei essenziellem Tremor (ET) und Parkinson-Krankheit (PD). Die zweite Anwendung liegt in assistiven Exoskeletten mit neuronalen Schnittstellen für den Einsatz bei Personen mit Rückenmarksverletzungen (SCI). Das BHNS schafft Kommunika-

tionskanäle zwischen verschiedenen sensorischen und motorischen Nerven, die eine synthetische Aktions-Reaktions-Kette der Sensomotorik ermöglichen. Die Muskelaktivität oder sensorische Wahrnehmung wird durch neuromuskuläre Stimulation moduliert, die nicht nur auf gemessenen lokalen Informationen (z. B. willentliche Aktivierung, Reflexaktivierung) basiert, sondern auch auf Aktivitäten, die in anderen Teilen des Körpers gemessen werden. Externe Geräte, wie etwa Exoskelette können durch neuromuskuläre Aktivität an mehreren Stellen des Körpers in Echtzeit gesteuert werden. Über die externen Geräte werden geschlossene Regelkreise zur Modifikation des sensorischen Verhaltens geschaffen, um Bewegungsstörungen zu korrigieren (z. B. Elektrostimulation zur pathologischen Tremorunterdrückung und EMG-basierte Regelung von Exoskeletten für die SCI-Rehabilitation).

#### Alternative Therapie in Sicht

Als erste Implementierung des BHNS-Ansatzes haben die EXTEND-Wissenschaftler bereits die intramuskuläre elektrische Stimulation unterhalb der motorischen Schwelle zur Reduktion des Tremors bei Patienten mit essenziellem Tremor getestet. Die Ergebnisse zeigten eine akute und über 24 Stunden anhaltende Reduktion, was den Weg in eine alternative Therapie eröffnen könnte. In der online veröffentlichten Publikation *Intramuscular stimulation of muscle afferents attains prolonged tremor reduction in essential tremor patients* werden diese vielversprechenden Forschungsergebnisse beschrieben. Die Publikation wird im Frühjahr in der Zeitschrift *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* erscheinen. Die Early-Access-Version ist über die EXTEND-Webseite (<https://extend-project.eu>) zugänglich.

#### Gebündelte Expertisen

Das Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik IBMT bringt seine langjährigen Erfahrungen auf dem Gebiet der neuromuskulären sensorischen und aktorischen Schnittstellen in das Projekt ein. Drei aufeinanderfolgende technische Ansätze mit zunehmender Integrationsdichte und Miniaturisierung werden vom Fraunhofer IBMT in Zusammenarbeit mit den EXTEND-Partnern entwickelt. Das für die Tremor-Management-Studie entwickelte System besteht aus einer intramuskulären Dünnschicht-Elektrode, die sowohl eine aktorische Stimulationselektrode als auch eine sensorische Elektromyographie (EMG)-Aufzeichnungselektrode für die Closed-Loop-Regelung beinhaltet. Um dies zu ermöglichen, kombiniert das Fraunhofer IBMT seine Kompetenzen in der Mikrofertigung von hochflexiblen und dünnen, hochkanaligen Polyimid-Elektroden mit seiner Expertise in Systemintegration und Implantattechnologie, immer unter Berücksichtigung der Anforderungen an Biokompatibilität und Biostabilität. ■

#### Projekt-Webseite:

<https://extend-project.eu/>  
<https://neurointerfacehub.extendproject.eu/>

### Buchtip

## Kein Versteckspiel mehr

Dieser Taschenatlas stellt erstmals die topografische Anatomie aller peripheren Nerven im Ultraschall mit Fokussierung auf spezielle Landmarken dar: mit den Punkten der optimalen Visibilität (POV). Annähernd alle Nerven des menschlichen Körpers sind mit hochauflösenden Schallköpfen bis zu 24 MHz im Detail dargestellt. Nützlich für den Anfänger wie für den Spezialisten-Nerven-Sonografen, liefert dieser Atlas klare und schnelle Vorgaben über die Sono-Anatomie der Nerven. Speziell für



Neurologen, Anästhesisten, Schmerztherapeuten, Radiologen, Rheumatologen und Chirurgen bietet diese standardisierte Anleitung klare Orientierung bei der Frage „Wo finde ich den Nerv am einfachsten“. ■

Hannes Gruber, Alexander Loizides, Bernhard Moriggl  
**Nervensonographie kompakt – Anatomie der peripheren Nerven mit Landmarks**  
Springer Verlag 2018,  
232 S., Softcover 41,11 Euro  
ISBN 978-3-662-56754-8  
Auch als eBook erhältlich