

HNO 2020 · 68:801–809

<https://doi.org/10.1007/s00106-020-00823-2>

Online publiziert: 10. März 2020

© Der/die Autor(en) 2020

P Stankovic¹ · J. Wittlinger² · R. Georgiew¹ · N. Dominas³ · S. Hoch³ · T. Wilhelm^{1,4} ¹ Klinik für HNO-Heilkunde, Kopf-/Hals- und plastische Gesichtschirurgie, Sana Kliniken Leipziger Land, Borna, Deutschland² Universitätsklinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle/Saale, Deutschland³ Universitätsklinik für Hals-, Nasen und Ohrenheilkunde, Phoniatrie und Pädaudiologie, Philipps-Universität Marburg, Marburg, Deutschland⁴ Medizinische Fakultät, Philipps-Universität Marburg, Marburg, Deutschland

Kontinuierliches intraoperatives Neuromonitoring (cIONM) in der Kopf-Hals-Chirurgie – eine Übersicht

Intraoperatives Neuromonitoring (IONM) zielt darauf ab, gefährdete neuronale Strukturen anatomisch und funktionell zu erhalten und so postoperativ temporäre und dauerhafte Paresen zu vermeiden. Modernes IONM ermöglicht nicht nur Nervenidentifizierung, sondern auch die Erkennung potenziell schädlicher Manipulationen; so kann anhand der intraoperativen Informationen eine Vorhersage der postoperativen Funktion erfolgen. Im Kopf-Hals-Bereich ist das IONM in der HNO-Heilkunde, Neurochirurgie und Schilddrüsenchirurgie etabliert.

Hintergrund

Die Geschichte des intraoperativen Neuromonitorings (IONM) reicht bis ins Jahr 1898 zurück, als Dr. Fedor Krause aus Berlin die monopolare faradische Stimulation bei der Neurektomie des N. vestibulocochlearis als Therapie eines dekompensierten Tinnitus zur Identifikation des N. facialis einsetzte [13]: Hierbei stimulierte er den Gesichtsnerv und stellte visuell fest, dass Kontraktionen der Ge-

sichtsregion erfolgten, insbesondere des M. orbicularis oculi sowie der die Nase und den Mund versorgenden Äste. Die Durchbruchsjahre für das IONM waren die 1960er-Jahre, als Flisberg und Lindholm [7] das IONM in die Schilddrüsenchirurgie einführten sowie Parsons und Hilger in verschiedenen Arbeiten Stimulatoren des Gesichtsnervs für die Parotis- und Ohrchirurgie entwickelten [10, 20].

In den letzten Jahrzehnten wurde die Nutzung des IONM in vielen Kliniken zum Standard, wobei es hier hauptsächlich zur Identifikation des Nervs bei der Präparation in der Nähe desselben eingesetzt wurde. Die hauptsächlichen Anwendungsgebiete waren die Schilddrüsenchirurgie, bei der der N. vagus und der N. recurrens überwacht wurden, sowie Parotischirurgie und Eingriffe im Kleinhirnbrückenwinkel (KHBW), bei denen der Gesichtsnerv überwacht wurde.

» Beim intermittierenden IONM wird die meiste Zeit „nicht gehört, was der Nerv zu sagen hat“

Grundprinzip ist hierbei, dass während der Operation die intakte Nervenfunktion durch distale Reizung und Registrie-

rung der myogenen Antwort überprüft und nachgewiesen wird. Darüber hinaus kann so bei fraglichen neuronalen Strukturen eine Identifikation des Nervs erfolgen. Die Sonde wird auf den Nerv gelegt, wodurch bei jeder Reizung des Nervs visuelle oder akustische Reize erzeugt werden. Diese Art der Anwendung kann als intermittierendes IONM (iIONM) definiert werden. Beim intermittierenden IONM wird die meiste Zeit „nicht gehört, was der Nerv zu sagen hat“.

In der HNO-Heilkunde wird iIONM hauptsächlich in der Parotischirurgie eingesetzt. Einige Autoren berichteten über niedrigere Raten postoperativer Fazialispareesen bei Anwendung von iIONM [16, 27, 35], andererseits gibt es ebenfalls Studien, die das Gegenteil behaupten [4, 9, 40]. In den Vereinigten Staaten gibt es keine klare Empfehlung, ob ein Kopf-Hals-Chirurg iIONM verwenden sollte, wenn er Operationen an der Parotis vornimmt. Dies führt dazu, dass derzeit 40 % der HNO-Ärzte in den USA routinemäßig kein iIONM verwenden, sondern sich auf ihre chirurgischen Fähigkeiten und Kenntnisse anatomischer Orientierungspunkte verlassen [17]. Eine kürzlich veröffentlichte Metaanalyse, bei der Parotidektomien mit und ohne iIONM verglichen wurden, zeigte, dass die Häufigkeit einer unmittelbar postope-

Die englische Version dieses Beitrags ist unter <https://doi.org/10.1007/s00106-020-00824-1> zu finden.

Tab. 1 Klassifikation des kontinuierlichen intraoperativen Neuromonitorings (cIONM) anhand des Stimulationsorts**Aktives kontinuierliches intraoperatives Neuromonitoring (acIONM)***N. facialis (N. VII)*

- Direkt (KHBW-Chirurgie)
- Perkutan (Chirurgie der vaskulären Malformationen)
- Transkraniell (elektrische Stimulation des Tractus corticobulbaris bei der KHBW-Chirurgie)

N. vestibulocochlearis (N. VIII)

- Direkt akustisch (KHBW-Chirurgie)

N. vagus (N. X)

- Direkt (Schilddrüsenchirurgie)

Passives kontinuierliches intraoperatives Neuromonitoring (pcIONM)*N. facialis (N. VII)*

- Freilaufendes, prozessiertes Entladung-EMG

EMG Elektromyogramm, KHBW Kleinhirnbrückenwinkel

rativen Fazialisparese nach Parotidektomie bei Verwendung von iIONM signifikant geringer war als bei intraoperativer Nichtüberwachung [34].

» Ziel des cIONM ist die Echtzeitüberwachung des Nervenstatus während der chirurgischen Manipulation

In den letzten Jahren wurde das IONM durch die Einführung eines sog. kontinuierlichen intraoperativen Neuromonitorings (cIONM) weiterentwickelt. Dies zielte darauf ab, in Echtzeit den Nervenzustand während des gesamten Verlaufs der Operation zu erfassen und – noch wichtiger – so die postoperative Funktion vorherzusagen. Dies wurde entweder aktiv (acIONM) oder passiv (pcIONM) durchgeführt (Tab. 1). Beim acIONM wird der Nerv kontinuierlich während des gesamten Eingriffs stimuliert. Hierzu wird eine Reizelektrode direkt auf dem Nerv oder in der Nähe desselben platziert. Dieses Prinzip wird ebenfalls bei der transkraniellen Nervenstimulation oder im Fall der Überwachung des N. VIII mithilfe akustischer Stimuli eingesetzt. Das

aktive cIONM wurde in der Schilddrüsenchirurgie [5, 8, 12, 14, 21, 25, 30, 32, 33], bei Eingriffen in der hinteren Schädelgrube [1, 2, 37, 41] und bei Operationen von Gefäßanomalien des Gesichts [38] entwickelt, um N. vagus, facialis und vestibulocochlearis zu schonen.

An dieser Stelle ist es wichtig, iIONM von cIONM zu unterscheiden, da einige Autoren iIONM manchmal als kontinuierlich bezeichnen, was zu Verwirrung führen kann. Während des iIONM ist der Patient zwar ständig an das Monitoringsystem angeschlossen, die Informationen, die der Chirurg erhält, sind jedoch nur lückenhaft, da sie erst bei aktiver Reizung neuraler Strukturen als Antwortpotenziale registriert werden: In diesem Setting ist die Identifikation des Nerven im umgebenden Gewebe nur dann möglich, wenn der Chirurg die Stimulationssonde aktiv verwendet. Es wird keine Analyse der Nervenamplituden und -latenzen durchgeführt, was dazu führt, dass während des größten Teils der operativen Maßnahmen „das, was der Nerv zu sagen hat, nicht wahrgenommen wird“. Während des cIONM hingegen wird eine ununterbrochene Analyse der Amplitude und der Latenz der neuralen Aktivität in das Monitoringsystem „eingespeist“, wodurch eine computergestützte Analyse ermöglicht wird.

Nutzen des cIONM

acIONM des N. vagus in der Schilddrüsenchirurgie

In der Literatur sind 5 verschiedene Modalitäten des acIONM beschrieben (Tab. 1). Ein aktives cIONM zur Funktionsüberwachung des N. recurrens wird durch die Positionierung einer Elektrode am N. vagus zwischen der A. carotis communis und der V. jugularis interna ermöglicht.

Hier wurde ein Muster einer drohenden Nervenschädigung identifiziert [32]: Ein kombinierter Abfall der Amplitude um mehr als 50 % und eine verlängerte Latenz um mehr als 10 %, was als multiples kombiniertes Ereignis („multiple combined event“, mCE) bezeichnet wurde, geht einem vollständigen Signalverlust voraus (LOS, „loss of signal“,

Amplitude <100 µV), was einen postoperativen Stimmbandstillstand voraussagt (Abb. 1).

» Ein Amplitudenabfall >50 % korrelierte mit einer postoperativen Nervenbeeinträchtigung

Wenn sich das mCE nicht zu einem LOS entwickelte, blieb die postoperative Funktion des Nervs normal. Daher kann die postoperative Parese vermieden werden, wenn dem Operateur während des Eingriffs ein mCE durch das Monitoringsystem angezeigt wird und er die zum Ereignis führenden Manipulationen (z. B. Traktion) korrigiert. Dadurch können drohende Nervenschädigungen vermieden werden.

Auf der Grundlage, dass das neurophysiologische Muster der Nervenschädigung während der cIONM „real-time“ verfolgt werden kann, wurde eine Studie publiziert, in der cIONM und iIONM bei 1526 aufeinanderfolgenden Schilddrüsenoperationen verglichen wurden, [33]. Das cIONM zeigte hier eine statistisch signifikante Überlegenheit in Bezug auf die permanente Stimmbandlähmung. Bei Patienten der cIONM-Gruppe wurden 77 mCE festgestellt, von denen 63 (82 %) vom Operateur durch Veränderung des chirurgischen Vorgehens aktiv rückgängig gemacht werden konnten [33].

Des Weiteren zeigten Schneider et al. in einer multizentrischen Studie, dass eine Signalerholung mit einer Amplitude $\geq 50\%$ der Baseline-Amplitude nach einem LOS mit einer intakten postoperativen Stimmlippenfunktion korreliert [31]. Diese Information erleichtert die Entscheidung, ob bei bilateral vorgesehener Schilddrüsenresektion die Resektion der Gegenseite vorgenommen werden kann, sollte ein LOS auf der zuerst operierten Seite registriert worden sein. Wenn es zu einer Signalerholung $\geq 50\%$ der Baseline-Amplitude kommt, könne den Autoren zufolge ohne weiteres die Operation der kontralateralen Seite in gleicher Sitzung erfolgen.

Direktes acIONM des N. facialis in der Chirurgie des KHBW

Eine direkte Stimulation des Gesichtsnervs während einer Operation an der hinteren Schädelgrube wurde von Amano 2011 beschrieben [1], bei der er den Nerv direkt an der Wurzelaustrittszone mit einer durch Watte pads fixierten Kugelelektrode stimulierte. Hierbei wurden signifikante Unterschiede in Bezug auf die letzte maximale Amplitude sowie das Amplitudenerhaltungsverhältnis (letzte Amplitude am Ende der Resektion im Vergleich zur Basisamplitude) zwischen den Gruppen unterschiedlicher Fazialispareesen festgestellt. Darüber hinaus wurde gezeigt, dass Patienten mit guten postoperativen funktionellen Ergebnissen anhand der House-Brackmann (HB)-Skala sowie Patienten mit einer langfristigen postoperativen Verbesserung des HB-Grads statistisch höhere Amplitudenerhaltungsraten aufwiesen [1]. Daher bewerteten die Autoren das acIONM bei Operationen in der hinteren Schädelgrube im Hinblick auf die Erhaltung der Gesichtsnervenfunktion als positiv.

acIONM bei der Chirurgie der vaskulären Malformationen des Gesichts

Die extrakranielle Methode des Neuromonitorings des Gesichtsnervs stellt die perkutane Stimulation dar. Ulkatan et al. verwendeten 2 monopolare Elektromyographie (EMG)-Nadeln, die perkutan in der Nähe des Foramen stylomastoideum positioniert wurden, bei der Operation von Gefäßmissbildungen des Gesichts [38]. Bei 161 vorwiegend jungen Patienten (Durchschnittsalter 14 Jahre) ermöglichte das acIONM eine präoperative Nervenkartierung, hauptsächlich bei Patienten, bei denen das Gesichtsoedem aufgrund einer präoperativen Sklerosierung die Muskelzuckungen maskierte; die Nadelplatzierung war bei allen Operationen ohne Komplikationen möglich [38]. Am Beginn der Operation wurde ein Basiswert der Amplitude festgelegt, Amplitudenabsenkungen von <50 % im Vergleich zum Basiswert waren hier der Hinweis an den Operateur, die Manipulationen zu stoppen, bis sich die Amplitu-

HNO 2020 · 68:801–809 <https://doi.org/10.1007/s00106-020-00823-2>
© Der/die Autor(en) 2020

P. Stankovic · J. Wittlinger · R. Georgiew · N. Dominas · S. Hoch · T. Wilhelm

Kontinuierliches intraoperatives Neuromonitoring (cIONM) in der Kopf-Hals-Chirurgie – eine Übersicht

Zusammenfassung

Obwohl die Geschichte des intraoperativen Neuromonitorings (IONM) bereits in das 19. Jahrhundert zurückdatiert werden kann, hat sich diese Methode bis vor Kurzem nicht von der reinen Differenzierung des Nervs weiterentwickelt. Erst das kontinuierliche IONM (cIONM) ermöglichte die durchgehende Analyse der Reizamplituden und -latenzen, welche mittlerweile ebenfalls in die Software gängiger Monitoringsysteme integriert wurde. Zielsetzung des cIONM ist ein Real-Time-Monitoring des Nervenstatus während des Eingriffs, um so drohende Nervenverletzung erkennen und verhindern zu können und die postoperative Funktion des Nervs vorhersehbar zu erhalten. Trotz einiger Nachteile wie falsch-positiver oder -negativer Alarme, technischer Artefakte und seltener Nebenwirkungen bleibt das cIONM ein gutes Hilfsmittel, das noch weiterentwickelt

wird. In der Literatur sind sowohl aktive (acIONM) als auch passive (pcIONM) Reiz- und Ableitmethoden des cIONM beschrieben. Derzeit gängige Anwendungsgebiete des cIONM umfassen die Schilddrüsenchirurgie mit der kontinuierlichen Stimulation des N. vagus sowie die Chirurgie des Kleinhirnbrückenwinkels (KHBW) mit dem Monitoring des N. facialis; hierbei werden neben kontinuierlicher Stimulation auch die Entladungsmuster des Nervs analysiert. Des Weiteren ist in die Chirurgie des KHBW das kontinuierliche Monitoring des Hörnervs etabliert.

Schlüsselwörter

Kleinhirnbrückenwinkel · Thyreoidektomie · Intraoperatives neurophysiologisches Neuromonitoring · N. facialis · N. vagus

Continuous intraoperative neuromonitoring (cIONM) in head and neck surgery—a review. German version

Abstract

Although the history of intraoperative neuromonitoring (IONM) dates back to the 19th century, the method did not evolve further than the mere differentiation of nerves until recently. Only the development of continuous IONM (cIONM) has allowed for non-stop analysis of excitation amplitude and latency during surgical procedures, which is nowadays integrated into the software of almost all commercially available neuromonitoring devices. The objective of cIONM is real-time monitoring of nerve status in order to recognize and prevent impending nerve injury and predict postoperative nerve function. Despite some drawbacks such as false-positive/negative alarms, technical artefacts, and rare adverse effects, cIONM remains a good instrument which is still

under development. Active (acIONM) and passive (pcIONM) methods of cIONM are described in literature. The main fields of cIONM implementation are currently thyroid surgery (in which the vagal nerve is continuously stimulated) and surgery to the cerebellopontine angle (in which the facial nerve is either continuously stimulated or the discharge signal of the nerve is analyzed via pcIONM). In the latter surgery, continuous monitoring of the cochlear nerve is also established.

Keywords

Cerebellopontine angle · Thyroidectomy · Intraoperative neurophysiological monitoring · Facial nerve · Vagal nerve

de normalisiert. Intraoperative Nervenläsionen wurden in allen 3 Fällen korrekt erkannt, und es wurde eine End-to-End-Neuroraphie durchgeführt; Im Follow-up erholten sich alle Patienten über einen längeren Zeitraum bis HB Grad I/II.

acIONM als transkraniale Stimulation bei Eingriffen im KHBW

Die transkraniale Mehrfachimpuls-Elektrostimulation (TES) des kortikobulbären Trakts ist die Methode zur kontinuierlichen Überwachung der Funkti-

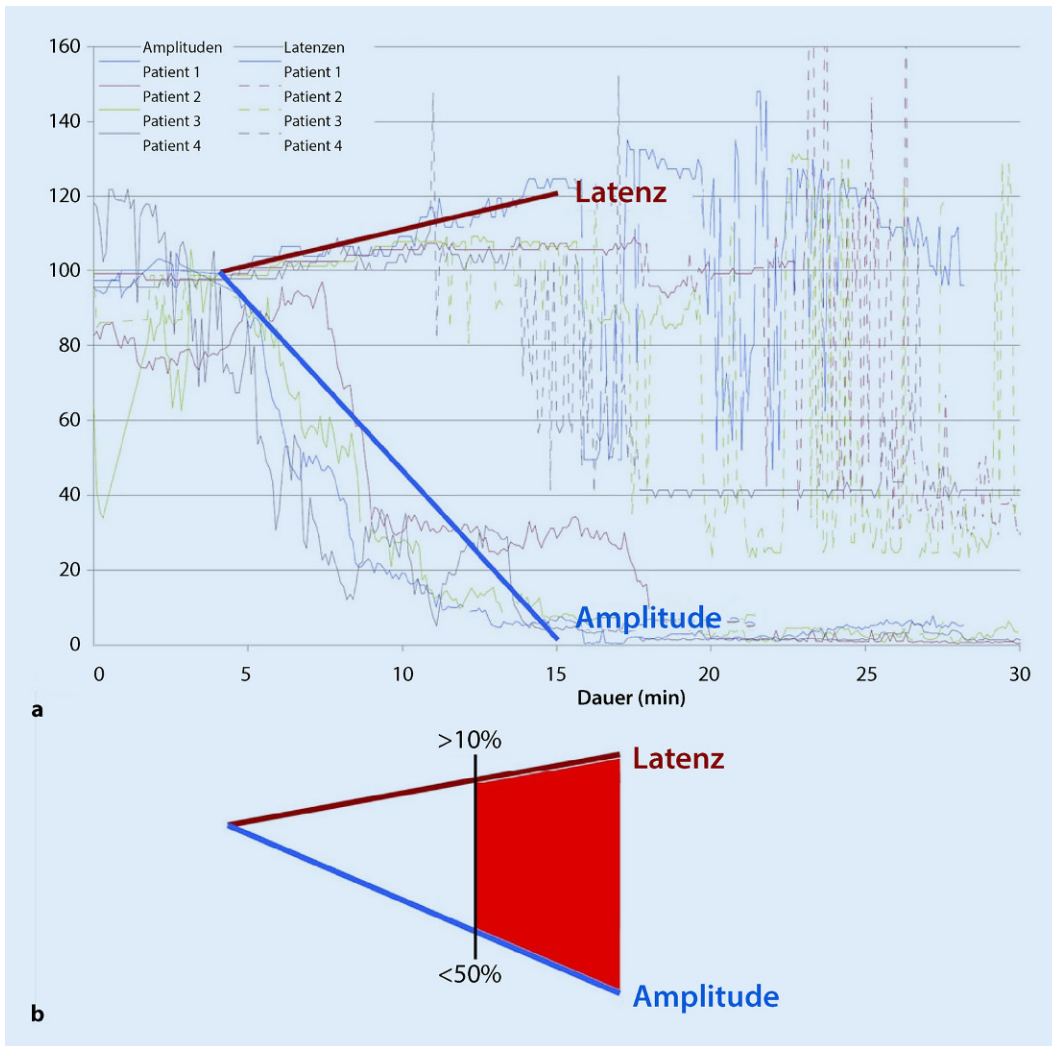


Abb. 1 ◀ **a** Signalverlust („loss of signal“, LOS) während eines aktiven kontinuierlichen intraoperativen Neuromonitorings (acIONM) des N. vagus bei der Schilddrüsenchirurgie mit postoperativer Paresis des N. recurrens. **b** Schematisches „cut-off“ für eine postoperative Paresis. (Aus [32]. Mit freundl. Genehmigung © John Wiley and Sons)

on des Gesichtsnervs durch Analyse von muskelmotorisch evozierten Potenzialen („facial nerve motor-evoked potentials“, FNMEP) bei Eingriffen in der hinteren Schädelgrube. Die Stimulationssonde in Form einer Becherelektrode wird über dem Schädel platziert. Dieses Verfahren verwendet Cluster von 3–4 Stromimpulsen, die eine supramaximale Stimulation (100–400 V) mit einem Interpulsintervall von 1–2 ms und einer Clusterfrequenz von $5,6-3,3 \times 10^{-3}$ Hz aufweisen [6].

» Amplitudenerholung von $\geq 50\%$ nach LOS korreliert mit einer normalen postoperativen Nervenfunktion

Dong et al. zeigten, dass kein Patient mit einer Endamplitude von 50 % oder mehr

im Vergleich zur Baseline-Amplitude eine deutliche Verschlechterung der Gesichtsnervenfunktion postoperativ aufwies [6].

acIONM des N. vestibulocochlearis bei Eingriffen im KHBW

Das Neuromonitoring des N. vestibulocochlearis unter Verwendung von auditorisch evozierten Hirnstammpotentialen (BAEP) während einer Operation im KHBW kann ebenfalls als acIONM bezeichnet werden. Während der Präparation in der Nähe des N. VIII werden dem Ohr über Ohrstöpsel kontinuierlich akustische Klicks von 100–110 dB angeboten. Die in der BAEP abgeleiteten Wellen JEWETT I und V liefern aufgrund ihrer Konstanz die nützlichsten Informationen, teilweise kann auch die Welle III zur Auswertung herangezogen werden.

Das andere Ohr wird durch weißes Rauschen von 60–70 dB vertäubt. Ein ähnliches Verfahren, welches bei den gleichen Operationen verwendet wird, ist die Elektrocochleographie (ECoChG): das acIONM ermöglicht hier die Ableitung einer Nervenantwort, die der JEWETT-Welle I des BAEP entspricht, jedoch mit einer signifikant höheren Amplitude. Hierbei ist auch das „compound action potential“ (CAP) zu beachten. Diese Methode nutzt eine Elektrode, die entweder zwischen dem Tumor und dem Wurzeleintritt des Nervs in den Hirnstamm [41] oder distal zum Tumor [11] platziert wird. BAEP, ECoChG und CAP sind komplementäre Methoden, die sich gegenseitig nicht ausschließen, sondern gemeinsam gleichzeitig angewendet werden können.

Das BAEP-basierte acIONM hat zuverlässige Ergebnisse bei der Vorhersage

Hier steht eine Anzeige.



der postoperativen Hörfunktion gezeigt. Beispielsweise teilten Neu et al. [19] Patienten in 4 Gruppen ein, die mit acIONM unter Verwendung von BAEP überwacht wurden. Alle Patienten mit stabiler Welle V (Muster 1) zeigten eine eindeutige Erhaltung des Hörvermögens, während alle Patienten mit irreversiblen abruptem Verlust des BAEP (Muster 2) trotz direkt postoperativer Erhaltung des Hörvermögens in 2 Fällen ihr Hörvermögen im Verlauf verloren. Alle Patienten mit einem irreversiblen progressiven Verlust von Welle I oder Welle V (Muster 3) erlitten ebenfalls trotz direkt postoperativer Erhaltung des Hörvermögens in 2 Fällen schließlich einen definitiven Hörverlust. Die Fälle mit intraoperativ reversiblen BAEP-Verlust (Muster 4) zeigten ein variables kurz- und langfristiges Hörergebnis [19].

Yamakami et al. wendeten bei ihren Eingriffen BAEP und CAP gleichzeitig an [41]: Zuverlässige BAEP-Werte bezogen auf Welle V konnten nur bei 41 % der Patienten abgeleitet werden, während bei 91 % der Patienten ein reproduzierbares CAP ohne Artefakte registriert wurde. Alle Patienten, deren CAP nach Abschluss der mikrochirurgischen Tumorsektion erhalten war, zeigten postoperativ ein brauchbares Gehör. Somit wurde eine 100%ige Spezifität und Sensitivität nachgewiesen [41].

pcIONM des Gesichtsnervs bei Eingriffen im KHBW

Neben dem aktiven kontinuierlichen IONM haben sich Methoden zur kontinuierlichen Überwachung entwickelt, die ausschließlich auf der Analyse der Entladungsmuster beruhen, die während der Operation auftreten: Dies kann als passives cIONM bezeichnet werden. Ein solches „freilaufendes EMG“ wird in der Neurochirurgie zur Überwachung des N. facialis eingesetzt. Prass und Lüders beschrieben „spikes“, „bursts“ und 3 Arten von „trains“ nach Analyse des EMG-Signals von 30 Patienten nach KHBW-Chirurgie [22]. Eine anhaltende periodische EMG-Aktivität wurde als „train“ bezeichnet. Das Vorhandensein von „A-Trains“ [22], ein hochfrequentes und niedrigamplituden-sinusförmiges

EMG-Muster, wurde in einer anderen Studie mit einem schlechteren postoperativen HB-Score korreliert [26]. Es ist erst Prell und seiner Gruppe gelungen, eine Software zu entwickeln, die in Echtzeit im Operationssaal eingesetzt wurde [23, 24], was die Echtzeitquantifizierung der „train time“ ermöglichte. So konnte den Operateur über die „kumulative Schädigung“ des Nervs informiert werden. Dies ermöglichte, in Echtzeit über die bevorstehende Nervenverletzung zu informieren, wodurch der Operateur die wahrscheinliche postoperative Nervenfunktion abschätzen und die operative Strategie aktiv ändern konnte, um eine weitere Verschlechterung der Nervenfunktion zu vermeiden.

» Modernes IONM ermöglicht intraoperativ eine Abschätzung der postoperativen Nervenfunktion

Hieraus wurde der Nervenzustand in Analogie mit einer Verkehrsampel bewertet: Der Nervenzustand ist „grün“, sobald die kumulative Zeit aller „trains“ („train time“) unter 0,125 s beträgt, woraus folgert, dass die Präparation sicher fortgeführt werden kann. Mit Anstieg der „train time“ bis 2,5 s wechselt das Ampellicht auf „gelb“, was eine erhöhte Vorsicht gebietet, da eine solche Dauer der „train time“ in 1/4 der Fälle mit Fazialispareesen vom Grad HB III korreliert war. Ein weiterer Anstieg der „train time“ über 2,5 s führte dazu, dass das Ampellicht auf „rot“ wechselte, da hier eine deutlich verschlechterte Fazialisfunktion zu erwarten ist. In diesem Fall müsste die Manipulation am Nerv abgebrochen und der operative Plan wieder hinterfragt werden. Als Konsequenz des „roten“ Lichts wurden z. B. der Zugangswinkel und/oder der Ort der Präparation geändert, Nimodipin intraoperativ verabreicht sowie in einigen Fällen die Operation abgebrochen und eine Revision geplant.

Sicherheit

Beim cIONM steht neben der Spezifität und Sensitivität die Sicherheit hinsichtlich möglicher Nervenläsionen durch die repetitiven Reizungen oder sonstiger Kollateralwirkungen im Vordergrund. Das passive cIONM ist in dieser Hinsicht unbedenklich, da es auf der reinen Analyse der gemessenen Muskelaktivität beruht und keine aktiven Stimulationen stattfinden. Dies ist beim aktiven cIONM jedoch nicht der Fall, da hier aktive Stimulationen angewendet werden. Daher müssen hier Sicherheitsaspekte geprüft und beachtet werden.

Das aktive cIONM wurde in großen Studien zur Schilddrüsenchirurgie überwiegend als sicheres Verfahren beschrieben [8, 32, 33]. In einer prospektiven Studie wurde die Sicherheit des acIONM nachgewiesen, da keine Herzfrequenzvariabilität und immunmodulatorischen Effekte durch kontinuierliche Stimulation des N. vagus festgestellt wurden [8]. Dies wurde auch in einer früheren Studie derselben Autorengruppe beobachtet, in der ein deutlicher Einfluss von acIONM auf das Gleichgewicht des autonomen Nervensystems bestand, ohne dass sich die Herzfrequenz, der Rhythmus oder die hämodynamischen Parameter veränderten [39]. In einer Studie an 102 Patienten stellten Phelan et al. fest, dass es weder zu unerwünschten Amplituden- oder Latenzveränderungen noch zu unerwünschten gastrointestinalen, kardialen oder pulmonalen Nebenwirkungen kam [21]. Ein aktives cIONM wurde auch bei Patienten mit fortgeschnittenem atrioventrikulärem Block ohne Nebenwirkungen eingesetzt [28].

In einer experimentellen Studie von Lee et al. an 13 Schweinen wurde acIONM unter Verwendung einer automatisierten Periodenstimulation angewendet, um die Kraft zu untersuchen, die für eine Traktionsverletzung des N. recurrens erforderlich ist [15]. Die Nerven wurden hierbei gedehnt, bis ein Signalverlust auftrat. Eine Erholung des EMG-Signals zeigten alle Nerven 7 Tage nach dem Experiment, was darauf hindeutete, dass acIONM allein keine strukturelle Schädigung des Nervs hervorruft [15], der sich in der Folge auch wieder erholen kann.

Es wurde jedoch ebenfalls über einige Nebenwirkungen berichtet [3, 18, 36]. Bei einem Patienten wurde eine reversible vagale Neuropraxie durch die APS®-Stimulationselektrode („automatic periodic stimulation“, Fa. Medtronic ENT, Jacksonville/FL, USA) mit sichtbarer perineuraler Ekchymose gesehen: Der Nerv konnte nach dem Ereignis nicht mehr stimuliert werden. In diesem Fall kam es zu einer postoperativen kurzfristigen Parese, die sich aber nach einem Monat völlig erholte. In derselben Veröffentlichung wurde eine schwerwiegende hämodynamische Instabilität (Bradykardie und Hypotonie) nach dem Einsetzen des acIONM bei einem jungen gesunden Patienten ohne Vorgeschichte von Herzereignissen festgestellt. Der Effekt konnte durch Entfernen der Elektrode prompt rückgängig gemacht werden. Beim Wiedereinsetzen der Elektrode wurde nochmals der gleiche Effekt beobachtet, der durch nochmaliges Entfernen der Elektrode wieder reversibel war. Die Patientenrekrutierung in der Studie wurde nach diesen beiden unerwünschten Ereignissen abgebrochen [36].

In 2 Studien, in denen zusammen fast 250 Nerven analysiert wurden, wurde die identische Wahrscheinlichkeit von 2% für eine Verletzung des Vagusnervs aufgrund der Platzierung der APS®-Elektrode angegeben [3, 18]. Die Ereignisse führten jedoch nicht zu einer permanenten postoperativen Rekurrensparese.

Sicherheit des acIONM bei Kindern

Die Sicherheit des acIONM wurde auch in einigen Studien bei Kindern untersucht. So verwendeten z. B. Bozinov et al. eine transkranielle Elektrostimulation, um bei 21 Patienten (5 Monate bis 15 Jahre alt, Durchschnittsalter 5,5 Jahre) kontinuierlich die motorisch evozierten Potenziale des Gesichtsnervs (FNMEP) zu überwachen. FNMEP waren auch in dieser jungen Patientengruppe anwendbar und mit ähnlichen Ergebnissen sicher, die bei der Vorhersage der postoperativen Gesichtsnervenfunktion bei Erwachsenen in anderen Untersuchungen erzielt wurden. Der HB-Grad blieb prä- und postoperativ in 23 von 24 Operationen gleich. Das Vorhandensein von FN-

MEP beeinflusste die chirurgische Strategie insofern, als in den Fällen, in denen die direkte Nervenstimulation keine Muskelreaktion hervorrief, die Tumorresektion fortgeführt wurde [2]. Ein weiteres Beispiel für das acIONM bei Kindern ist die bereits erwähnte Studie von Ulkatan et al., in der die perkutane Stimulation in 201 Operationen bei 161 Patienten im durchschnittlichen Alter von 14 Jahren angewendet wurde [38]. Die Sicherheit des acIONM bei Schilddrüsenoperationen wurde ebenfalls bei einer großen Studie mit 105 Kindern belegt [29].

Einschränkungen

Abgesehen von den erwähnten seltenen Nebenwirkungen aufgrund der Elektrodenplatzierung sind einige andere Einschränkungen zu nennen. Nach Erfahrung der Autoren muss das Problem der häufig auftretenden technischen Artefakte und falsch-positiven oder -negativen Alarme stets beachtet werden. Dies kommt v. a. beim cIONM mit Echtzeitnervenüberwachung zum Tragen. Allen genannten Studien ist gemeinsam, dass man sich eines niedrigen positiven Vorhersagewerts bewusst sein muss. Daher kann beispielsweise in der Schilddrüsenchirurgie ein falsch-positiver Alarm einen unnötig verzögerten Eingriff an der kontralateralen Seite bedingen.

» Bisher wurden keine Studien mit cIONM bei der Parotischirurgie durchgeführt

Abgesehen von seltenen retrospektiven Studien, in denen cIONM mit iIONM in der Schilddrüsenchirurgie verglichen wurde, gibt es keine Veröffentlichungen, in denen diese neuartige Methode mit der konventionellen iIONM in den anderen zuvor genannten Anwendungsgebieten verglichen wird. Prospektive randomisierte Studien sind hier dringend erforderlich, um den behaupteten Nutzen nachzuweisen. Bisher wurden keine Studien mit cIONM bei der Parotischirurgie durchgeführt.

Einige der genannten Methoden bleiben „Einzelstudienberichte“, d. h. sie haben sich in der klinischen Praxis

nicht etabliert (s. Abschnitt „Direktes acIONM des N. facialis in der Chirurgie des KHBW“ und Abschnitt „acIONM bei der Chirurgie der vaskulären Malformationen des Gesichts“). Bei anderen Studien wurden nur die zuletzt erfasste Amplitude und die Basisamplitude zur statistischen Auswertung herangezogen (s. Abschnitt „Direktes acIONM des N. facialis in der Chirurgie des KHBW“) oder die Frequenz der kontinuierlichen Stimulation betrug lediglich eine Stimulation in 3–5 min (s. Abschnitt „acIONM als transkranielle Stimulation bei Eingriffen im KHBW“), was die Notwendigkeit und auch den Nutzen einer kontinuierlichen Stimulation infrage stellt.

Fazit für die Praxis

- Kontinuierliches intraoperatives Neuromonitoring (cIONM) als eine neuartige Methode hat die Erkennung einer drohenden Nervenverletzung und die damit verbundene Änderung der operativen Strategie ermöglicht.
- Darüber hinaus wurde die Vorhersage der postoperativen Nervenfunktion auf Basis von cIONM im Vergleich zu intermittierendem intraoperativem Neuromonitoring (iIONM) verfeinert.
- cIONM eröffnet dem Bereich Neuromonitoring eine neue Dimension.
- Dabei handelt es sich um ein Verfahren, das Chirurgen bei der Durchführung von chirurgischen Manövern in unmittelbarer Nähe neuronaler Strukturen helfen kann.
- Es kann eine ausgefeilte Operationstechnik nicht ersetzen, bietet jedoch zuverlässige und sichere Unterstützung.
- In zahlreichen Studien und Tierversuchen wurde die Sicherheit des aktiven cIONM nachgewiesen.
- Die bisherigen Ergebnisse unterstützen die Anwendung des cIONM auch in der Parotischirurgie, in der sich bisher weder das aktive noch das passive cIONM etablieren konnten.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. T. Wilhelm

Klinik für HNO-Heilkunde, Kopf-/Hals- und plastische Gesichtschirurgie, Sana Kliniken Leipziger Land
Rudolf-Virchow-Straße 2, 04552 Borna, Deutschland
thomas.wilhelm@sana.de

Förderung. Dieses Projekt wurde vollständig durch die Klinik für HNO-Heilkunde, Kopf-/Hals- und plastische Gesichtschirurgie an den Sana Kliniken Leipziger Land finanziert.

Funding. Open Access funding provided by Projekt DEAL.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. P. Stankovic, J. Wittlinger, R. Georgiew, N. Dominas, S. Hoch und T. Wilhelm geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Amano M, Kohno M, Nagata O et al (2011) Intraoperative continuous monitoring of evoked facial nerve electromyograms in acoustic neuroma surgery. *Acta Neurochir* 153:1059–1067 (discussion 1067)
- Bozinov O, Grotzer MA, Sarnthein J (2015) Intraoperative monitoring of facial nerve motor-evoked potentials in children. *World Neurosurg* 84:786–794
- Brauckhoff K, Vik R, Sandvik L et al (2016) Impact of EMG changes in continuous vagal nerve monitoring in high-risk endocrine neck surgery. *World J Surg* 40:672–680
- Deneuve S, Quesnel S, Depondt J et al (2010) Management of parotid gland surgery in a university teaching hospital. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 267:601–605
- Deniwar A, Kandil E, Randolph G (2015) Electrophysiological neural monitoring of the laryngeal nerves in thyroid surgery: review of the current literature. *Gland Surg* 4:368–375
- Dong C, Macdonald D, Akagami R et al (2005) Intraoperative facial motor evoked potential monitoring with transcranial electrical stimulation during skull base surgery. *Clin Neurophysiol* 116:588–596
- Flisberg K, Lindholm T (1969) Electrical stimulation of the human recurrent laryngeal nerve during thyroid operation. *Acta Otolaryngol Suppl* 263:63–67
- Friedrich C, Ulmer C, Rieber F et al (2012) Safety analysis of vagal nerve stimulation for continuous nerve monitoring during thyroid surgery. *Laryngoscope* 122:1979–1987
- Grosheva M, Klussmann JP, Grimminger C et al (2009) Electromyographic facial nerve monitoring during parotidectomy for benign lesions does not improve the outcome of postoperative facial nerve function: a prospective two-center trial. *Laryngoscope* 119:2299–2305
- Hilger JA (1964) Facial nerve stimulator. *Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol* 68:74–76
- Jackson L, Robertson J (2000) Acoustic neuroma surgery: use of cochlear nerve action potential monitoring for hearing preservation. *Am J Otolaryngol* 21:249–259
- Jonas J (2010) Continuous vagal nerve stimulation for recurrent laryngeal nerve protection in thyroid surgery. *Eur Surg Res* 44:185–191
- Krause F (1907) *Chirurgie des Gehirns und Rückenmarks*. Rebman, Berlin
- Lamade W, Ulmer C, Friedrich C et al (2011) Signal stability as key requirement for continuous intraoperative neuromonitoring. *Chirurg* 82:913–920
- Lee HY, Cho YG, You JY et al (2016) Traction injury of the recurrent laryngeal nerve: results of continuous intraoperative neuromonitoring in a swine model. *Head Neck* 38:582–588
- Lopez M, Quer M, Leon X et al (2001) Usefulness of facial nerve monitoring during parotidectomy. *Acta Otorinolaringol Esp* 52:418–421
- Lowry TR, Gal TJ, Brennan JA (2005) Patterns of use of facial nerve monitoring during parotid gland surgery. *Otolaryngol Head Neck Surg* 133:313–318
- Arteaga MA, Peloni G, Leuchter I et al (2018) Modification of the surgical strategy for the dissection of the recurrent laryngeal nerve using continuous Intraoperative nerve monitoring. *World J Surg* 42:444–450
- Neu M, Strauss C, Romstöck J et al (1999) The prognostic value of intraoperative BAEP patterns in acoustic neurinoma surgery. *Clin Neurophysiol* 110:1935–1941
- Parsons RC (1968) Electrical nerve stimulation at surgery. *Laryngoscope* 78:742–748
- Phelan E, Schneider R, Lorenz K et al (2014) Continuous vagal IONM prevents recurrent laryngeal nerve paralysis by revealing initial EMG changes of impending neuropraxic injury: a prospective, multicenter study. *Laryngoscope* 124:1498–1505
- Prass RL, Luders H (1986) Acoustic (loudspeaker) facial electromyographic monitoring: Part 1. Evoked electromyographic activity during acoustic neuroma resection. *Neurosurgery* 19:392–400
- Prell J, Rachinger J, Scheller C et al (2010) A real-time monitoring system for the facial nerve. *Neurosurgery* 66:1064–1073 (discussion 1073)
- Prell J, Ramm P, Romstöck J et al (2007) Train time as a quantitative electromyographic parameter for facial nerve function in patients undergoing surgery for vestibular schwannoma. *J Neurosurg* 106:826–832
- Randolph GW, Dralle H, International Intraoperative Monitoring Study Group et al (2011) Electrophysiologic recurrent laryngeal nerve monitoring during thyroid and parathyroid surgery: international standards guideline statement. *Laryngoscope* 121(Suppl 1):S1–S16
- Romstöck J, Strauss C, Fahlbusch R (2000) Continuous electromyography monitoring of motor cranial nerves during cerebellopontine angle surgery. *J Neurosurg* 93:586–593
- Savvas E, Hillmann S, Weiss D et al (2016) Association between facial nerve monitoring with postoperative facial paralysis in parotidectomy. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg* 142:828–833
- Schneider R, Machens A, Bucher M et al (2016) Continuous intraoperative monitoring of vagus and recurrent laryngeal nerve function in patients with advanced atrioventricular block. *Langenbecks Arch Surg* 401:551–556
- Schneider R, Machens A, Sekulla C et al (2018) Twenty-year experience of paediatric thyroid surgery using intraoperative nerve monitoring. *Br J Surg* 105:996–1005
- Schneider R, Przybyl J, Hermann M et al (2009) A new anchor electrode design for continuous neuromonitoring of the recurrent laryngeal nerve by vagal nerve stimulations. *Langenbecks Arch Surg* 394:903–910
- Schneider R, Randolph G, Dionigi G et al (2019) Prediction of postoperative vocal fold function after Intraoperative recovery of loss of signal. *Laryngoscope* 129:525–531
- Schneider R, Randolph GW, Sekulla C et al (2013) Continuous intraoperative vagus nerve stimulation for identification of imminent recurrent laryngeal nerve injury. *Head Neck* 35:1591–1598
- Schneider R, Sekulla C, Machens A et al (2015) Postoperative vocal fold palsy in patients undergoing thyroid surgery with continuous or intermittent nerve monitoring. *Br J Surg* 102:1380–1387
- Sood AJ, Houlton JJ, Nguyen SA et al (2015) Facial nerve monitoring during parotidectomy: a systematic review and meta-analysis. *Otolaryngol Head Neck Surg* 152:631–637
- Terrell JE, Kileny PR, Yian C et al (1997) Clinical outcome of continuous facial nerve monitoring during primary parotidectomy. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 123:1081–1087
- Terris DJ, Chaung K, Duke WS (2015) Continuous vagal nerve monitoring is dangerous and should not routinely be done during thyroid surgery. *World J Surg* 39:2471–2476
- Tokimura H, Sugata S, Yamahata H et al (2014) Intraoperative continuous monitoring of facial motor evoked potentials in acoustic neuroma surgery. *Neurosurg Rev* 37:669–676
- Ulkatan S, Waner M, Arranz-Arranz B et al (2014) New methodology for facial nerve monitoring in extracranial surgeries of vascular malformations. *Clin Neurophysiol* 125:849–855
- Ulmer C, Friedrich C, Kohler A et al (2011) Impact of continuous intraoperative neuromonitoring on autonomic nervous system during thyroid surgery. *Head Neck* 33:976–984

40. Witt R (1998) Facial nerve monitoring in parotid surgery: the standard of care? Otolaryngol Head Neck Surg 119:468–470
41. Yamakami I, Yoshinori H, Saeki N et al (2009) Hearing preservation and intraoperative auditory brainstem response and cochlear nerve compound action potential monitoring in the removal of small acoustic neurinoma via the retrosigmoid approach. J Neurol Neurosurg Psychiatry 80:218–227

Infektsprechstunden statt Fieberambulanzen – HNO-Praxen sind für zweite Coronawelle gerüstet

Neumünster, 22.09.2020 - „Wer in der anstehenden Erkältungszeit Anzeichen eines Infektes aufweist, soll sich vor dem Arztbesuch darüber informieren, wann die Arztpraxis eine gesonderte Sprechstunde für Infektpatienten anbietet“, erklärt der Präsident des Deutschen Berufsverbandes der Hals-Nasen-Ohrenärzte.

In den meisten HNO-Arztpraxen gebe es seit Ausbruch der Corona-Krise separate „Infektsprechstunden“. „Wann man mit Fieber oder Erkältungssymptomen in die HNO-Praxis kommen kann, findet sich in den allermeisten Fällen mit wenigen Klicks auf der Praxis-Webseite im Internet“, so Dr. Dirk Heinrich. Die zusätzliche Einrichtung von sogenannten Fieberambulanzen sei vor diesem Hintergrund nicht primär notwendig. Im Zuge der Diskussion um die beste Corona-Strategie für den Herbst und Winter und insbesondere die Einrichtung neuer Fieberambulanzen, wie von Bundesgesundheitsminister Jens Spahn angedacht, weist der Berufsverband der HNO-Ärzte auf die vorhandenen ambulanten Kapazitäten hin. „Es ist grundsätzlich sinnvoll, jetzt die Corona-Strategie für die kommende Erkältungsperiode genauer in den Blick zu nehmen. In den nächsten Monaten ist davon auszugehen, dass sich die übliche Infektwelle mit Covid-19 vermischt.“ Gleichzeitig habe sich seit Ausbruch der Corona-Pandemie gezeigt, dass die niedergelassenen Ärztinnen und Ärzte in kürzester Zeit tragfähige Strukturen zur Versorgung von Corona-Patienten aufgebaut haben. Sechs von sieben Covid-19-Patienten wurden ambulant behandelt. „Mit dieser Strategie konnten wir erfolgreich verhindern, dass die Krankenhäuser zu Super-spreadern wurden und eine Überlastung der Kliniken ausgeblieben ist. Auf den ambulanten Schutzwall kann sich der Minister auch im Winter verlassen“, unterstreicht Heinrich. In den allermeisten HNO-Praxen gebe es funktionierende Abläufe zum Umgang mit Corona-Verdachtsfällen. In den Praxen werden nicht nur im großen Umfang Abstriche entnommen und zur Analyse in die Labore geschickt. Es existierten auch geeignete räumliche und organisatorische Konzepte, die eine Ausbreitung von SARS-CoV-2 in den Wartezimmern verhindere, schildert Heinrich. Beispiele seien die flächendeckend eingerichteten Sprechzeiten für Infektpatienten sowie die Möglichkeit zur Krankschreibung per Videosprechstunde. „Kein Patient muss aus Angst vor Corona wegen einer anderwei-

tigen Erkrankung zuhause bleiben. Es ist aus ärztlicher Sicht unbedingt ratsam, gesundheitliche Probleme vom HNO-Arzt abklären zu lassen. Nur so kann die Gefahr einer unerkannten schwerwiegenden Erkrankung rechtzeitig ausgeschlossen werden“, appelliert Heinrich. Komme es zu einer zweiten Welle, müsse außerdem über die Wiedereinführung der telefonischen Krankschreibung nachgedacht werden.

Im Zusammenhang mit den Plänen zur Einrichtung von zusätzlichen Fieberambulanzen weist Heinrich auf die bisherigen Erfahrungen mit ambulanten Testzentren hin. Heinrich: „In vielen Fieberambulanzen gab es weit weniger Patientenaufkommen als zunächst angenommen. Die Kolleginnen und Kollegen, die dort freiwillig und in der Regel zusätzlich zur regulären Sprechstundenzeit über Wochen Dienst geschoben haben, sollten im Winter besser in der eigenen Praxis zur Bekämpfung der Corona-Pandemie zur Verfügung stehen.“ Angesichts des verbreiteten Ärztemangels, sei der unsachgemäße Einsatz der ärztlichen Ressourcen unbedingt zu vermeiden.

Abschließend weist Heinrich auf ein anderes Problem der derzeit massiv ausgeweiteten Test-Strategie hin: „Wir stellen fest, dass der nasal-orale Abstrich zu oft nicht lege artis durchgeführt wird. Entweder werden die Wattestäbchen nicht weit genug in die jeweilige Körperöffnung eingeführt, sodass das Hauptreservoir des Virus verfehlt wird. Oder es werden Patienten sogar selbst gebeten, den Abstrich an sich vorzunehmen, ohne dass eine qualifizierte Kontrolle oder Anleitung besteht.“ Dieser Wildwuchs könne nur unterbunden werden, wenn die Corona-Testungen zielgerichtet bei Vorlage klarer Verdachtskriterien und durch geschultes, erfahrenes medizinisches Personal erfolgten. Zu den hierfür geeigneten Einrichtungen zählen beispielsweise die HNO-Arztpraxen in Deutschland, unterstreicht Dr. Heinrich.

Quelle: Deutscher Berufsverband der HNO-Ärzte e. V., Neumünster