

Aus der Neurochirurgischen Klinik und Poliklinik
Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. Jörg-Christian Tonn

**Die Anwendung des spinalen intraoperativen
neurophysiologischen Monitorings
in Deutschland, Österreich und der deutschsprachigen
Schweiz
- Eine Querschnittsstudie -**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von
Constance Raith
aus
Bad Schlema
Jahr 2021

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Andrea Szelényi

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Andreas Straube

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. Sebastian Siller

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 29.07.2021

Wesentliche Teile dieser Arbeit wurden publiziert als:

Siller, S., et al., Indication and technical implementation of the intraoperative neurophysiological monitoring during spine surgeries-a transnational survey in the German-speaking countries. *Acta Neurochirurgica (Wien)*, 2019. 161(9): p. 1865-1875.

[77]

Abkürzungsverzeichnis:

°C	Grad Celsius
A	Österreich
Abb.	Abbildung
ASNM	American Society of Neurophysiological Monitoring
bzw.	beziehungsweise
C	Zervikalsegment
CH	Schweiz
cm	Zentimeter
D	Deutschland
DIMDI	Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information
dir.	direkte
DGAI	Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin
DGKN	Deutsche Gesellschaft für Klinische Neurophysiologie und Funktionelle Bildgebung
DGNC	Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie
DRG	Diagnosis Related Groups
D-Welle	Direkte Welle
DWG	Deutsche Wirbelsäulengesellschaft
EEG	Elektroenzephalografie
EMG	Elektromyografie
Ext.	Extern
EP	Evoziertes Potential
ff.	fortfolgende
GV	Grundversorgung
Hz	Hertz
ICD	International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems
IMSCT	Intramedullary spinal cord tumor
Int.	Intern
IONM	Intraoperatives neurophysiologisches Monitoring
LMU	Ludwig-Maximilians-Universität
mA	Milliampere

MEP	Motorisch evoziertes Potential
μs	Mikrosekunden
ms	Millisekunden
MTA	Medizinisch-technische Assistentin
μV	Mikrovolt
mV	Millivolt
MV	Maximalversorgung
N.	Nervus
NC	Neurochirurgie
NCAFW	Neurochirurgische Akademie für Aus-, Fort- und Weiterbildung
Nervenst.	Nervenstimulation
OPS	Operationen- und Prozedurenschlüssel
ORUC	Orthopädie und Unfallchirurgie
resp.	respektive
SEP	Somatosensibel evoziertes Potential
SGNC	Schweizerische Gesellschaft für Neurochirurgie
SGS	Schweizerische Gesellschaft für spinale Chirurgie
Sign.	Signifikanz
Tab	Tabelle
Tc-mMEP	Transkraniell evozierte muskuläre motorisch evozierte Potentiale
TES	Transkranielle elektrische Stimulation
TH	Thorakalsegment
TMS	Transkranielle magnetische Stimulation
TIVA	Totale intravenöse Anästhesie
USA	United States of America
USD	United States Dollar
vs.	versus
ZV	Zentralversorgung

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung	8
1 Einleitung	9
1.1 Geschichte des intraoperativen Neuromonitorings	9
1.2 Physiologische Grundlagen des IONM	10
1.3 Monitoringverfahren	11
1.3.1 EEG.....	11
1.3.2 Evozierte Potentiale	12
1.3.3 EMG.....	14
1.4 Relevante Einflussgrößen	16
1.4.1 Anästhesieverfahren.....	16
1.4.2 Körpertemperatur	17
1.4.3 Blutdruck	17
1.5 Warnkriterien.....	17
1.6 Vorteile und Kritikpunkte des IONM	18
1.7 Epidemiologie des IONM.....	21
1.8 Personelle Entwicklung	22
1.9 Repräsentation im G-DRG System.....	23
1.10 Charakteristika einer Onlinesurvey.....	24
2 Zielsetzung	26
3 Methodik	27
3.1 Studiendesign	27
3.2 Kollektiv	27
3.2.1 Ein- und Ausschlusskriterien.....	27
3.2.2 Rekrutierung Kliniken	27
3.2.3 Verteilung der Fragebögen	28
3.3 Fragebogen	29
3.4 Ablauf der Umfrage	32
3.5 Kategorisierung und Datenanalyse	33
3.6 Statistische Methode	33
4 Ergebnisse	35
4.1 Charakteristika der befragten Abteilungen.....	35
4.2 Rücklaufquote der kontaktierten Abteilungen	36
4.3 Anwendung des IONM.....	40
4.3.1 Allgemeine Anwendung	40

4.3.2	Anwendung der einzelnen IONM-Modalitäten.....	42
4.4	Jährliche Fallzahlen spinaler Eingriffe und die Anwendung des IONM.....	45
4.4.1	Kategorie „Degeneration“	48
4.4.2	Kategorie „Trauma“	51
4.4.3	Kategorie „skoliotische Veränderung“	54
4.4.4	Kategorie „Raumforderung“.....	57
4.4.5	Unterschiede in der Subkategorienanalyse.....	63
4.4.6	Unverzichtbarkeit des IONM	64
4.5	Organisation der technischen Umsetzung, Überwachung und Interpretation des IONM	65
4.5.1	Personalauswahl des Gesamtkollektivs	65
4.5.2	Personalauswahl in den einzelnen Subkategorien.....	68
4.5.3	Schulung des verantwortlichen Personals	73
4.6	Zufriedenheit mit dem heutigen Stand des IONM.....	73
4.7	Vorkommen falsch-positiver und falsch-negativer Ergebnisse	74
4.8	Kritikpunkte und Verbesserungsvorschläge zum aktuellen Stand des IONM	75
5	Diskussion	76
5.1	Diskussion der Methode	76
5.2	Diskussion der Ergebnisse.....	77
5.2.1	Charakteristika und Rücklaufquote der Teilnehmer	77
5.2.2	Anwendung des IONM.....	78
5.2.3	Jährliche Fallzahlen spinaler Eingriffe und die Anwendung des IONM	80
5.2.4	Organisation der technischen Umsetzung, Überwachung und Interpretation des IONM	81
5.2.5	Zufriedenheit mit dem heutigen Stand des IONM	82
5.2.6	Vorkommen falsch-positiver und falsch-negativer Ereignisse	83
5.2.7	Kritikpunkte und Verbesserungsvorschläge zum aktuellen Stand des IONM	83
5.3	Ausblick	84
6	Zusammenfassung	86
7	Literaturverzeichnis	87
8	Anhang	97
8.1	Abbildungsverzeichnis.....	97
8.2	Tabellenverzeichnis	99
9	Danksagung	100

Vorbemerkung

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit und einfacheren Formulierung wird in der folgenden Dissertation auf die geschlechtsneutrale Differenzierung, z.B. Operateur/innen, verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung grundsätzlich für alle Geschlechter.

1 Einleitung

Das intraoperative Neuromonitoring (IONM) ermöglicht es, während einer Operation Nervenbahnen zu identifizieren und deren Funktionsfähigkeit zu überwachen.

Bereits kleinste mechanische und vaskuläre Veränderungen können frühzeitig und häufig in einem Stadium erkannt werden, bevor ein irreversibler Zustand eintritt [68]. Somit hat das IONM Einfluss auf den operativen Verlauf und ermöglicht die Schonung der Nervenbahnen [82].

Es handelt sich um ein wichtiges Verfahren zur Lokalisation und Überwachung bei operativen Eingriffen in der Neurochirurgie, Orthopädie, HNO sowie der Gefäß- und Viszeralchirurgie [22].

Abhängig von dem jeweiligen Eingriff und Operationsgebiet werden unterschiedliche Umsetzungen des IONM angewandt. Dazu zählen die evozierten Potentiale und Verfahren direkter Nervenstimulation.

Mittels evozierter Potentiale lassen sich beispielsweise efferente Bahnen, wie der Tractus corticospinalis, jedoch auch afferente Bahnen, wie die Hinterstrangbahn überwachen [42, 50, 52].

1.1 Geschichte des intraoperativen Neuromonitorings

Die Geschichte der klinischen Neurophysiologie reicht bis in das 18. Jahrhundert zurück. Bereits 1791 sprach Luigi Galvani von elektrischer Aktivität in der Muskulatur, deren Vorhandensein Mitte des 19. Jahrhunderts von Bernstein und Du Bois-Reymond ebenfalls in der Hirnrinde bestätigt wurde [24, 43].

1875 stellte Richard Caton die elektrische Potentialänderung der Hirnaktivität nach visueller Reizung fest, was eine frühe Form der Messung evozierter Potentiale darstellt [12].

Zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts führten der deutsche Neurochirurg Krause und der Neurologe Foerster erstmalig das Brain Mapping mittels direkter Nervenstimulation durch [8, 41].

Basierend auf dieser Grundlage gelang es wenige Jahre später Penfield, Marshall und Walker eloquente sensorische und motorische Areale des Gehirns zu kartieren, womit die Elektrophysiologie in den Operationssaal eingeführt wurde [5].

1947 postulierte Dawson das Vorhandensein evozierter Potentiale, welche 25 Jahre später durch Tamaki klinisch für das intraoperative Neuromonitoring eingesetzt wurden [89].

Anfangs beschränkte sich das IONM vor allem auf die Messung der SEP und AEP. Das SEP stellte in der spinalen Chirurgie die erste wichtige IONM-Modalität dar und wurde bei der operativen Skoliosekorrektur eingesetzt [6]. Die fehlende Überwachung motorischer Funktionen führte jedoch zu Beginn häufig zu falsch negativen Ergebnissen [37, 66, 97].

Erst in den 90er Jahren konnte auch die Pyramidenbahn mittels elektrischer und magnetischer Stimulation des Motorkortex intraoperativ überwacht werden und das MEP wurde zu einer wichtigen Grundlage des IONM [11, 88].

1.2 Physiologische Grundlagen des IONM

Die Basis aller IONM-Techniken stellt die neuronale Erzeugung von Aktionspotentialen und deren Weiterleitung über die Axone und Nervenfaserbündel dar [81].

Durch die Depolarisation einer Zelle wird eine Ladungsverschiebung über die Zellmembran generiert. Diese erzeugt eine Spannungsänderung und kann in Volt gemessen werden [50, 82]. Durch die Summe mehrerer synchroner und gleichgerichteter Ladungsverschiebungen in Axonbündeln entsteht ein Summenaktionspotential. Dieses kann in einem größeren Abstand zum Entstehungsort entlang des Nervenbündels abgeleitet und gemessen werden [50, 53]. Die Fortleitungsgeschwindigkeit hängt vor allem von dem Nervenfaserdurchmesser und der Dicke der Myelinscheide ab [81, 82]. Ebenso beeinflussen Faktoren wie Temperatur und metabolische Gegebenheiten die Leitungsgeschwindigkeit, da sie die Membranerregbarkeit beeinträchtigen [14, 81, 83].

Die wichtigsten Messparameter der Nervenleitung und des IONM bilden die Latenz und die Amplitude der Potentiale ab [81]. Die Reizantwort steht in einem festen zeitlichen Zusammenhang zu dem applizierten Reiz. Die Dauer zwischen dem Reiz, der axonalen Fortleitung und dem Ableitungsort wird als Latenz bezeichnet und in Millisekunden angegeben [81, 82]. Die Amplitude gibt den Abstand zwischen der höchsten positiven und negativen Auslenkung des Summenaktionspotentials wieder [81, 82].

Durch die stetige Kontrolle von Latenz und Amplitude können Nervenschäden frühzeitig erkannt und das operative Vorgehen zur Schonung der Nerven geändert werden.

1.3 Monitoringverfahren

Die intraoperative Lokalisation und die Schonung der neuronalen Bahnen spielt eine wichtige Rolle in verschiedenen Fachbereichen.

Abhängig von dem jeweiligen Eingriff und Operationsgebiet lassen sich unterschiedliche Verfahren des IONM klassifizieren.

Die Anwendung erfolgt meist multimodal unter gleichzeitiger Nutzung verschiedener Techniken. Dies gewährleistet die bestmögliche Sensitivität und Spezifität der Messergebnisse [67, 84].

In der spinalen Chirurgie finden vor allem die Messung der SEP, der MEP, der D-Welle, des freilaufenden EMG und der direkten Nervenstimulation Anwendung [26, 63, 68].

1.3.1 EEG

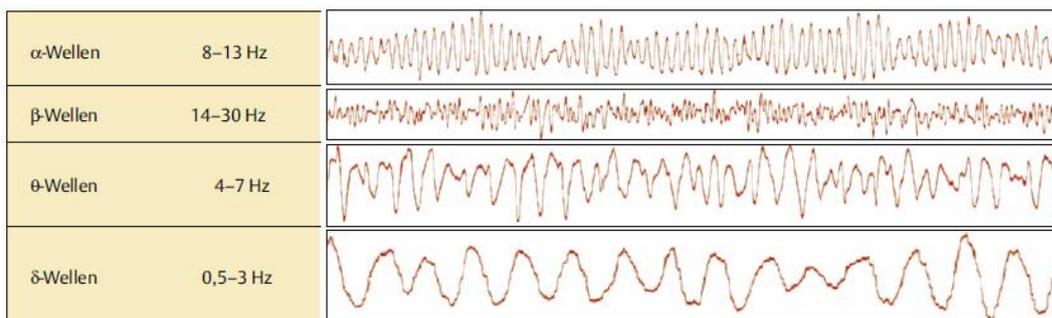
Das EEG leitet Potentialschwankungen an der Schädeloberfläche ab, welche im Kortex entstehen [50].

Bei einer zeitlich synchronen und periodischen Aktivierung von Neuronen entstehen wellenförmige EEG-Signale mit einer Amplitude zwischen $<10\mu\text{V}$ und $100\mu\text{V}$ [52].

Diese bilden abhängig von der Frequenz vier typische Grundrhythmen der Aktivität ab. Alpha-Wellen zeigen sich vor allem bei Erwachsenen im inaktiven Zustand mit geschlossenen Augen. Beta-Wellen treten bei mentaler Aktivität und gerichteter Aufmerksamkeit auf. Theta- und Delta-Wellen hingegen zeichnen die Stadien der Schläfrigkeit und späteren Schlafphasen aus [50].

Das EEG bietet somit die Möglichkeit die Narkosetiefe darzustellen. Gleichermaßen muss der Einfluss des Anästhesieverfahrens in der EEG-Auswertung berücksichtigt werden [20].

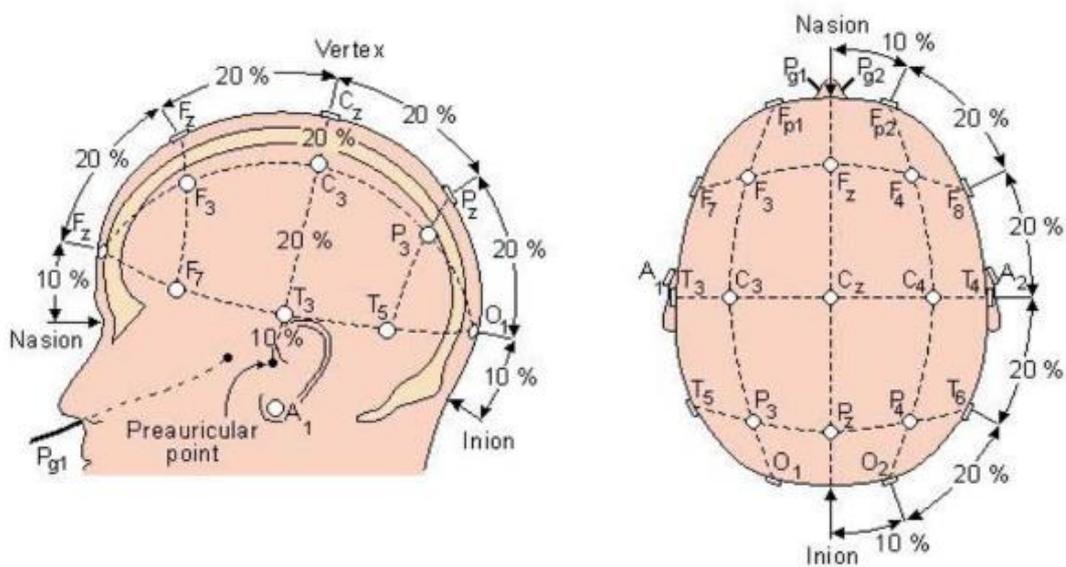
Abb. 1: Grundrhythmen des EEG [3]



Die Messung der EEG-Ströme erfolgt durch Oberflächen Elektroden, die auf der Kopfhaut des Patienten angebracht werden [50]. Zur Ableitung eines intraoperativen EEG werden Nadelelektroden genutzt, welche einen sichereren Sitz bieten [52].

Diese werden präoperativ nach dem internationalen 10-20 System platziert. Hierbei wird jeder Ableitpunkt mit einer Zahl und einem Buchstaben markiert, wobei sich die geraden Zahlen oberhalb des rechten und die ungeraden Zahlen oberhalb des linken Kortex befinden [50]. Die exakte Lokalisation der Elektroden zeigt sich in Abb. 2.

Abb. 2: Verteilung der Elektroden nach dem internationalen 10-20 System [2]



Durch die kontinuierliche Darstellung des EEG können Veränderungen in den zerebralen, kortikalen und unmittelbar subkortikalen Gebieten kontrolliert werden. Hingegen können tiefere Strukturen, sensomotorische Bahnen, Hirnnerven, periphere Nerven und das Rückenmark durch das EEG nicht abgebildet werden [20].

1.3.2 Evozierte Potentiale

Bei den evozierten Potentialen handelt es sich um elektrisch erfassbare spinale oder kortikale Reizantworten, welche einer überschwelligen Stimulation folgen [52].

Das neuronal erzeugte Aktionspotential führt zu der Entstehung eines Dipols. Die exakte Platzierung der Ableitelektroden zur Messung der Potentiale über dem Plus- und Minuspol spielt hierbei eine wichtige Rolle. Bei einer Ableitung im Winkel von 180° wäre das Signal zu schwach oder nicht darstellbar [20]. Die Kenntnisse der korrekten Platzierung sind essentiell um potentielle Fehlerquellen zu vermeiden.

Im Unterschied zu den EEG-Grundrhythmen ist die Amplitude des EP häufig niedriger als die nicht-reizkorrelierten, spontan auftretenden Hintergrundaktivitäten [7]. Eine effektive Analyse kann nur durch die reizbezogene Aufsummierung wiederholter Messungen und einer Mittelung der Werte, dem Averaging, durchgeführt werden [20]. Dies ermöglicht es, die nicht-reizkorrelierte Hintergrundaktivität zu reduzieren.

Durch die EP können ausgewählte Reizleitungsbahnen isoliert beurteilt werden.

Die wichtigsten Parameter zur Kontrolle der Funktions- und Leitfähigkeit der Nervenbahnen stellen die Amplitude und die Latenz dar. Diese werden nicht mit definierten Normwerten, sondern den individuellen Ausgangswerten des Patienten nach der Narkoseeinleitung verglichen [82].

Abhängig von der Operation und der gefährdeten Reizleitungsbahn finden in der spinalen Chirurgie insbesondere SEP, MEP (Tc-mMEP) sowie das spinale MEP (D-Welle) Anwendung [52].

1.3.2.1 SEP

Die Messung des SEP dient der kontinuierlichen, intraoperativen Überwachung zerebraler, spinaler und peripherer somatosensibler Bahnen.

Durch die Elektrostimulation eines peripheren gemischten Nervenstammes werden evozierte Potentiale erzeugt, welche über die aufsteigende Leitungsbahn abgeleitet werden können. Demnach kann insbesondere die gesamte Hinterstrangbahn, bis hin zum Gyrus postcentralis überprüft werden [52].

Üblicherweise werden der N. medianus und der N. tibialis posterior als Ausgangsnerven gewählt und je nach Operationsgebiet entsprechend der spinalen Höhe um z. B. den N. ulnaris ergänzt [52].

Die Reizfrequenz des SEP beträgt ca. 2,7–5,1 Hz, die Stromstärke ca. 25 mA und die Pulsdauer ca. 0,2 ms bei einer Mittelung von 100-250 Einzelreizen [26, 78].

Bei der Stimulation des N. medianus erfolgt die Ableitung über dem kontralateralen Gyrus postcentralis, dem Dornfortsatz in Höhe von C2, C7 sowie dem Erb-Punkt [50, 52].

Der aufsteigende Anteil des N. tibialis posterior wird in der Fossa poplitea, der lumbalen Wirbelsäule und dem Gyrus postcentralis abgeleitet.

Mechanische Schädigungen der sensiblen Hinterstrangbahn können durch das SEP frühzeitig objektiviert und Nervenläsionen lokalisiert werden. Auch eine Minderperfusion der Nerven äußert sich in einer Abnahme der Amplitude und kann in einem frühen reversiblen Stadium erkannt werden [52, 76].

Die Messung des SEP kann somit den Operationsverlauf beeinflussen und den Chirurgen einen drohenden neuronalen Schaden frühzeitig aufzeigen.

Da lediglich die Nervenleitungen der aufsteigenden sensiblen Bahnen dargestellt werden, wird das SEP bei vielen Operationen komplementär neben weiteren IONM-Modalitäten eingesetzt.

1.3.2.2 MEP und D-Welle

Bei dem MEP handelt es sich um ein Potential, welches durch die zentrale Stimulation des Motorkortex erzeugt und direkt über die entsprechenden Kennmuskeln oder dem Rückenmark abgeleitet werden kann [52]. Mithilfe dieses Verfahrens lassen sich die efferenten absteigenden Leitungsbahnen sowohl intrakraniell, als auch über den gesamten Tractus corticospinalis beurteilen [52].

Es existieren verschiedene Möglichkeiten ein MEP zu erzeugen und abzuleiten, wobei intraoperativ die TES verwendet wird, welche auf einer elektrischen Stimulation des Kortex basiert [80].

Die TES wird mit anodaler konstanter Stromstimulation appliziert. Dazu wird eine Pulsserie von 5-7 Einzelpulsen, je 0,5 ms Dauer, mit einem Interpulsintervall von 2-4 ms und einer Stimulationsintensivität von bis zu 250 mA verwendet [7, 87]. Die kranialen Stimulationselektroden befinden sich analog zu dem 10-20 System des EEG auf den Punkten C4, C2, Cz, C1, C3 und 6 cm ventral von Cz. Die Ableitung erfolgt über Nadelelektroden, welche sich in repräsentativen Kennmuskeln der Arme, Beine und des Gesichtes befinden [50, 52].

Die Anwendung des MEP ermöglicht eine intraoperative Kontrolle des schnell-leitenden pyramidal-motorischen Systems vom Kortex bis zu den Muskeln [26, 50, 52].

Eine zusätzliche Methode, die absteigende motorische Bahn bei spinalen Eingriffen zu beurteilen, bietet die Ableitung der D-Welle. Hierbei wird das spinale MEP durch einen einzelnen TES Impuls erzeugt [16]. Die Ableitung kann proximal bzw. rostral und muss auf jeden Fall distal bzw. kaudal des spinalen Operationsgebietes erfolgen [26].

Intraoperativ werden Potentialverluste und Amplitudenminderungen als Warnkriterien verwendet [39, 73].

1.3.3 EMG

Das EMG bietet eine gute Möglichkeit, die Spinalwurzeln und periphere motorische Nerven zu beurteilen [23, 63]. Diese Modalität findet häufig Anwendung bei

chirurgischen Eingriffen in der Nähe des Rückenmarks und bei der Platzierung von Pedikelschrauben [23, 63].

Es lassen sich zwei Arten der EMG Nutzung unterscheiden.

1.3.3.1 Freilaufendes EMG

Bei der Anwendung des freilaufenden EMG werden Nadelelektroden in der Kennmuskulatur ausgewählter Nervenwurzeln platziert und es erfolgt eine kontinuierliche Messung in Echtzeit [20, 63, 68]. Die Auswahl der entsprechenden Muskeln richtet sich nach der spinalen Operationshöhe und der gefährdeten Nervenwurzel.

Bei einer intakten Nervenwurzel und einem unversehrten peripheren Nerv zeigt sich in der Ableitung keine Aktivität. Intraoperative Manipulationen mechanischer oder thermischer Genese führen hingegen zu auffälligen neuronalen Entladungsmustern, wie Fibrillationen, Faszikulationen oder myotonen Entladungen [20, 63]. Da es sich bei dem freilaufenden EMG um eine sehr empfindliche Kontrolle der Nervenintegrität handelt, entstehen häufig falsch-positive Ergebnisse [63]. Es ist zu berücksichtigen, dass durch den intraoperativen Einsatz von Strom oder Spüllösungen auffällige Entladungsmuster entstehen können, die nicht auf eine Schädigung der Nervenwurzel hindeuten [20, 63]. Ferner kann auch die Durchtrennung eines Nervs erfolgen, ohne Spontanaktivität auszulösen [20].

Der Vorteil des EMG ergibt sich aus der kontinuierlichen Messung in Echtzeit [20, 63, 68]. Dies ermöglicht ein gezieltes operatives Vorgehen, ein frühzeitiges Erkennen potentieller neuronaler Schäden und eine entsprechende Anpassung des Operationsverlaufs.

1.3.3.2 Direkte Nervenstimulation

Eine weitere Einsatzmöglichkeit des EMG ist die direkte Stimulation spinaler Nerven. Diese IONM-Modalität findet häufig Anwendung bei der Platzierung von Pedikelschrauben in der spinalen Skoliosekorrektur [23, 52, 68].

Um die Schrauben fest zu verankern und zugleich eine neuronale Verletzung zu vermeiden, kann mittels manueller Stimulationselektrode die korrekte Bohrkanaltiefe und die optimale Lage der Schrauben sondiert werden. Abhängig von der spinalen Operationshöhe erfolgt die Ableitung über eine Nadelelektrode, die in dem entsprechenden Kennmuskel eingebracht wird [63, 68]. Dieses kontrollierte operative Vorgehen reduziert das Risiko postoperativer neurologischer Defizite [23, 68].

Obwohl das breite Einsatzspektrum des EMG besonders bei spinalen Eingriffen eine sehr gute Möglichkeit der Funktionskontrolle motorischer Bahnen darstellt, gibt es wichtige Limitationen, die zu beachten sind.

Da die Sensitivität des EMG sehr gering ist, sollte dessen Einsatz stets multimodal unter ergänzender Verwendung des SEP und MEP erfolgen [85].

1.4 Relevante Einflussgrößen

Für die Anwendung und Auswertung der einzelnen IONM-Modalitäten muss sich das Operationsteam über verschiedene Einflussgrößen bewusst sein, um eine mögliche Fehlinterpretation zu vermeiden. Diese könnten andernfalls zu falsch-positiven oder falsch-negativen IONM-Ereignissen führen.

1.4.1 Anästhesieverfahren

Die Auswahl des richtigen Narkoseverfahrens ist entscheidend für die korrekte Interpretation des IONM.

Auf die Anwendung volatiler Anästhetika, insbesondere auf Halogen- oder Stickstoffbasis, sollte grundsätzlich verzichtet werden. Diese führen zu einer erheblichen Amplitudenminderung des MEP und SEP und erschweren eine korrekte Interpretation und Auswertung der Messergebnisse [20, 30, 52, 80, 91].

Bei dem Einsatz dieser IONM-Modalitäten empfiehlt es sich auf alternative Narkoseverfahren, wie der totalen intravenösen Anästhesie (TIVA) auszuweichen [52, 63, 80]. Hierbei werden Analgetika und Hypnotika gezielt titriert, wodurch eventuelle Änderungen der Amplitude oder Latenz direkt nachvollziehbar sind.

Eine gängige Kombination stellen Propofol als Hypnotikum und Fentanyl bzw. Remifentanyl als Analgetikum dar, da sie die IONM-Ableitung nur geringfügig beeinflussen [30, 80]. Rapide Bolusgaben und hohe Dosen sollten jedoch vermieden werden.

Die Qualität des MEP wird zudem durch die Gabe von Muskelrelaxantien beeinträchtigt. Demnach sollte die Intubation unter der Anwendung kurz wirksamer und nicht-depolarisierender Substanzen, wie beispielsweise Rocuronium oder Vecuronium, erfolgen [38, 63].

1.4.2 Körpertemperatur

Auch die Körpertemperatur des Patienten kann die Ableitung des IONM verändern [20, 48]. Es ist zu beachten, dass die Nervenleitgeschwindigkeit bei einem Temperaturabfall von 1 °C um 4% abnehmen kann, was zu einer Verlängerung der Latenz führt [20]. Analog vermindert eine Temperaturerhöhung diese.

Bei einer Hyperthermie über 41 °C kann ein kompletter Potentialverlust des SEP erfolgen [20].

Das Operationsteam muss dies besonders bei der Spülung des Operationsgebietes, bei wiederholter Kauterisierung oder der generellen Abnahme der Körpertemperatur beachten [20, 48, 80]. Durch die gleichzeitige Ableitung peripherer und zentraler Potentiale können die Ursachen von Verlängerungen gut detektiert werden [84, 92].

1.4.3 Blutdruck

Ebenso beeinflusst der Blutdruck die Amplitude der EP [20, 48].

Durch eine Hypotension kann eine neuronale Minderperfusion entstehen, die eine Amplitudenabnahme oder einen kompletten Potentialverlust nach sich zieht [20]. Um einer spinalen Ischämie entgegenzuwirken, muss stetig auf einen suffizienten mittleren arteriellen Blutdruck geachtet werden.

Die sofortige Perfusionserhöhung dient zudem häufig als Erstmaßnahme bei einer Abnahme oder dem Verlust des IONM-Potentials und kann ein bleibendes neurologisches Defizit vorbeugen [98].

1.5 Warnkriterien

Es existieren derzeit nur Empfehlungen, jedoch keine allgemeingültigen Leitlinien, welche die Warnkriterien des IONM konkret definieren. Demnach variieren die Angaben in der Literatur und viele Ärzte orientieren sich an Studien und empirischen Erfahrungswerten.

Die hohe Sensitivität des IONM bedingt die korrekte Diagnose eines iatrogen entstandenen neurologischen Schadens. Ein erfolgreiches Monitoring bedarf nicht nur hoher diagnostischer Genauigkeit, sondern auch eines Zeitpunktes, in dem die Veränderungen potenziell völlig reversibel sind. Wird also ein drohender neurologischer Schaden früh genug erkannt, hat der Operateur durchaus die Möglichkeit durch die Änderung des Vorgehens eine Manifestation zu verhindern.

Abhängig von der Wahl des jeweiligen Warnkriteriums ändern sich die Spezifität und Sensitivität sowie die Anzahl der falsch-positiven und falsch-negativen Diagnosen.

Tab. 1 zeigt die wichtigsten Warnkriterien der einzelnen Modalitäten, wobei zu beachten ist, dass die Zahlen je nach Studie abweichen können.

Tab. 1: Warnkriterien nach Literatur

IONM-Modalität:	Warnkriterium:
SEP:	Amplitudenabnahme >50% bzw. Latenzverlängerung >10% [34, 40]
MEP:	Amplitudenabnahme >50% [34, 40] Amplitudenabnahme >70% [39] Amplitudenabnahme >80% [99]
D-Welle:	Amplitudenabnahme >50% [75]
EMG:	Anhaltende neurotone Entladung [40]

1.6 Vorteile und Kritikpunkte des IONM

Es hat sich gezeigt, dass der Einsatz der einzelnen IONM-Modalitäten von der jeweiligen Operation abhängig ist und häufig multimodal erfolgt. Es existieren individuelle Unterschiede bezüglich der Stärken und Schwächen der IONM-Modalitäten, was die konkrete Auswahl zusätzlich beeinflusst.

Eine Auflistung der individuellen Unterschiede zeigt sich im Vergleich in Tab. 2.

Tab. 2: Stärken (+) und Schwächen (-) der IONM-Modalitäten

SEP:

- + sehr gute Sensitivität und Spezifität [44, 59, 63]
- + Kontrolle der gesamten Hinterstrangbahn und peripherer sensibler Nerven [63]
- + kontinuierliches Monitoring möglich [44, 63]
- + gut etablierte Warnkriterien [44]
- nur bedingter Einsatz volatiler Anästhetika [26]
- Mittelung der Signale zeitintensiv [44, 63]
- geringe Sensitivität für motorische Defizite [44]

Tc-mMEP:

- + sehr gute Spezifität für motorische Defizite [44]
- + Kontrolle des gesamten motorischen Trakts möglich [44]
- kein Einsatz neuromuskulärer Blocker und volatiler Anästhetika möglich [44]
- induzierte Bewegungen können kontinuierliches Monitoring einschränken [44]
- führt zu Bewegungen des Patienten mit möglicher Verletzungsgefahr [44, 63]
- Auslösung von Krampfanfällen möglich [44, 63]

D-Welle:

- + kontinuierliches Monitoring möglich [44]
- + hoher prognostischer Wert bezüglich motorischer Funktion [26, 63]
- + Lokalisation der Ableitelektrode direkt im Operationsgebiet [26]
- keine Kontrolle der Nervenwurzel [44]
- ungenau bei Skolioseoperationen (27% falsch-positiv Rate) [44]
- unsicherer Einsatz bei Patienten im Alter unter 21 Monaten wegen inkompletter Reifung des motorischen Trakts [86]
- kein Monitoring unterhalb der spinalen Höhe TH 12 möglich [63]

Spontanes EMG:

- + hohe Sensitivität für Nervenwurzelverletzungen [44]
- + kontinuierliches Feedback in Echtzeit [44]
- hohe falsch-positiv Rate [44]
- sehr temperaturempfindlich (z.B. Spülflüssigkeit und Kauterisation) [44]
- schließt anästhetische Nutzung neuromuskulärer Blocker aus [44]

Direkte Nervenstimulation:

- + einfache Durchführung und Interpretation [44]
 - + Darstellung von Spinalwurzeln z. B. in Neurinomen [44]
 - + Sonderfall: Pedikelstimulation [44]
 - + hohe Sensitivität für Pedikelbruch [44, 63]
 - keine direkte Aussagekraft bezüglich neurologischer Defizite [44, 63]
-
-

Die Anwendung des IONM bringt viele Vorteile mit sich, welchen aber auch diverse Kritikpunkte gegenüberstehen.

Ein Nachteil, der sich aus der Nutzung des IONM ergibt, ist der damit verbundene zeitliche Mehraufwand. Präoperativ müssen je nach Anzahl der Modalitäten die verschiedenen Stimulations- und Ableitelektroden platziert werden. Dies kann bei dem multimodalen Einsatz zeitaufwendig sein. Um den Operationsbeginn nicht zu verzögern, findet die Elektrodenplatzierung während der Narkoseeinleitung statt.

Bei der Anwendung des Tc-MEP stellen die kontraktionsbedingte Verletzungsgefahr, die Möglichkeit kardialer Arrhythmien und die potentielle Krampfneigung des Patienten ein Risiko dar. Ulkatan et al. zeigte 2017 in einer retrospektiven Studie, dass 0,2% der Patienten, die sich einer orthopädischen spinalen Operation unterzogen haben, intraoperativ einen Krampfanfall nach transkranieller elektrischer Stimulation erlitten [93]. In einer Metaanalyse gab MacDonald et al. eine Häufigkeit von 0,03% an [47]. 0,2% der Patienten der entsprechenden Studie erlitt einen Zungenbiss, 0,01% eine Mandibulafraktur und 0,03% eine kardiale Arrhythmie nach transkranieller Stimulation [47]. Grundsätzlich besteht ein Risiko in der Anwendung des Tc-MEP, welches jedoch sehr gering ist. Die Verwendung eines Beißkeils, die Erhebung einer ausführlichen Patientenanamnese und die intraoperative Kontrolle der Lagerung können die entsprechenden Risiken minimieren [93].

Der Einsatz des IONM bietet dem Patienten jedoch sehr viele Vorteile.

Durch die intraoperative Kontrolle der Nervenbahnen können potentielle Schädigungen frühzeitig und häufig in einem reversiblen Stadium erkannt werden. Dies ermöglicht es den Operateuren entsprechende Interventionen durchzuführen und das Risiko postoperativer neurologischer Defizite, wie einer bleibenden Parese oder Plegie, zu mindern [75, 76, 95, 100]. Besonders der Einsatz multimodaler Techniken erhöht die Aussagekraft und damit die Sicherheit für den Patienten [19, 26, 84, 85, 92, 100].

Es existieren keine großen randomisierten kontrollierten Studien zum Einsatz des IONM, wodurch sich der Vorteil dessen Anwendung nicht in einem direkten Vergleich aufzeigen lässt. Jedoch sprechen die Anzahl der richtig-positiven Alarme des IONM und die niedrige Rate postoperativer neurologischer Defizite für dessen Nutzen. In der retrospektiven Studie von Wang et al. traten in 62 Fällen richtig-positive Alarme bei spinalen Operationen auf, jedoch wiesen nur 10 Patienten ein postoperatives neurologisches Defizit auf [95].

Ähnliche Ergebnisse veröffentlichte auch Zuccaro et al. 2017 [100]. Bei 806 Skolioseoperationen zeigten sich 80 richtig-positive Tc-MEP und 7 SEP Alarme. In nur einem Fall trat ein postoperatives neurologisches Defizit auf [100].

Im Bereich der Tumorchirurgie profitiert der Patient zusätzlich von dem Einsatz des IONM. Durch die exakte Bestimmung der Resektionsgrenzen und des Nervenverlaufs können Raumforderungen in der Nähe neuronaler Strukturen effizienter und radikaler reseziert werden, ohne neurologische Schäden zu verursachen [13, 76]. Dies erhöht die Qualität der Tumorresektion mit dem kurativen Ziel, bei gleichzeitiger Verbesserung des Outcome der Patienten [13, 51, 75, 76]. Mehta et al. zeigte in seiner Studie eine signifikante Reduktion iatrogenen Verletzungen der Hinterstrangbahn durch den Einsatz des IONM bei der Resektion intramedullärer spinaler Tumore (IMSCT) [51]. Die Verwendung des direkten Mappings senkte die Rate der postoperativen neurologischen Defizite von 50% auf 9% [51]. Viele Operationen, die aufgrund der topographischen Tumurlage früher als inoperabel galten, können heute durch den Einsatz des IONM durchgeführt werden. Choi et al. verglich die IMSCT-Resektion mit und ohne der Anwendung des IONM. Unter der Verwendung des IONM gelang in 76% der Fälle eine vollständige Tumorresektion, hingegen in der Kontrollgruppe nur zu 58% [13].

Es zeigt sich, dass die Nutzung des IONM sehr heterogen eingestuft wird. Trotz diverser Kritikpunkte sollte der Nutzen und Mehrertrag für den Patienten im Vordergrund stehen. Dieser profitiert diagnostisch, therapeutisch und prognostisch vom Einsatz des IONM.

1.7 Epidemiologie des IONM

Es hat sich in den letzten Jahren gezeigt, dass der Einsatz des IONM in der Wirbelsäulenchirurgie stetig zugenommen hat. Historisch begann die spinale Anwendung des IONM in den 1970er Jahren mit dem SEP, welches im Bereich der Skoliosekorrektur eingesetzt wurde [6]. Durch die Einführung weiterer IONM-Techniken etablierte sich im Verlauf der multimodale Einsatz des IONM zu einer gängigen Methode [21, 84, 92].

In Europa existieren keine Statistiken, welche die quantitative Entwicklung der IONM-Anwendung darlegen.

Seit 2007 in den USA die ICD-9 Codes für das IONM eingeführt wurden, entstanden diverse Studien, basierend auf den Zahlen des Nationwide Inpatient Sample (NIS).

2014 beschrieb James et al. einen Anstieg der IONM-Nutzung von 1% auf 12% hinsichtlich der Gesamtzahl aller spinalen Eingriffe in den Jahren 2007-2011 [36]. Dies verdeutlicht eine Steigerung um 120% über einen Zeitraum von 4 Jahren. 2011 wurde das IONM am häufigsten bei der Resektion spinaler (45,9%) und meningealer Tumore (35,7%), der operativen Behandlung von Bandscheibendegenerationen (14,8%) und Myelopathien (14,1%) eingesetzt [36].

2018 publizierte Laratta et al. eine retrospektive Studie in den USA, welche in den Jahren 2008-2014 eine Zunahme der IONM-Anwendung um insgesamt 296% aufzeigte [45].

2018 publizierte auch Ajiboye et al. eine retrospektive Studie, welche gezielt die quantitative IONM-Anwendung bei operativen Skoliosekorrekturen darstellte [1]. Die aus der Pearl Diver Patient Record Database stammenden Zahlen ergaben in den Jahren 2005-2011 einen Anstieg von 27,0% auf 46,9%, wobei häufiger ein multimodaler Einsatz erfolgte (64,6% vs. 34,6% unimodal) [1].

Obwohl noch keine Studien zu der Anwendung des IONM in Europa existieren, lassen die amerikanischen Publikationen auf einen stetigen Anstieg schließen.

1.8 Personelle Entwicklung

In den 1970er Jahren wurden die ersten IONM-Modalitäten verwendet, welche eigenhändig von Neurophysiologen erstellt wurden [22]. In den beiden Folgedekaden entstanden erste Publikationen über die Effizienz des IONM-Einsatzes [59, 69], gefolgt von der kommerziellen Produktion der Modalitäten und der Ausbildung und Zertifizierung von geschultem Personal durch das American Board of Registration of Electroencephalographic and Evoked Potential Technologists [33, 94].

1989 wurde in den USA die American Society of Neurophysiological Monitoring (ASNM) gegründet, die weltweit größte Organisation, die sich der Entwicklung des IONM, der Erstellung von Richtlinien und der Definition der Ausbildungsinhalte des Personals widmet [27].

In den USA übernimmt ein neurologischer Facharzt die Supervision des IONM. Es entwickelte sich die ärztliche Supervision und die praktische Durchführung durch nachgeordnetes medizinisches Personal, z. B. „technicians“ oder Personen mit einem akademischen Abschluss in den Lebenswissenschaften. Letztere und Ärzte haben die Möglichkeit eine Zertifizierungen, beispielsweise durch das American Board of Neurophysiologic Monitoring (ABNM) zu erlangen [48, 79]. Infolge von Personalmangel

übernahm zunehmend nicht-ärztliches Personal die Überwachung des IONM [27, 33]. In Deutschland, Österreich und der Schweiz wurde diese Aufgabe insbesondere der MTA übertragen, die eine 3 jährige Berufsausbildung oder einen Bachelorstudiengang absolviert hat [9, 10, 60].

Aufgrund ansteigender Operationszahlen und einem Mangel an Fachärzten entstanden neue Methoden der IONM-Umsetzung. Anstelle der intraoperativen Überwachung eines einzelnen Patienten, begannen die Neurophysiologen in den 90er Jahren 2-3 MTA simultan zu betreuen, welche je einem Patienten zugeteilt waren [58]. 1995 folgte die Einführung des Telemonitoring, der IONM-Überwachung über einen Monitor außerhalb des Operationssaals [38, 58]. Diese wurde aus kurzen, fußläufigen oder sehr großen, teils länderübergreifenden Distanzen durchgeführt [38, 58]. 2013 veröffentlichte Nuwer et al. die Ergebnisse einer Studie, welche die Umsetzung des IONM in den USA quantifizierte [58]. 86% der teilnehmenden Ärzte gaben an, das Monitoring lokal durchzuführen, wobei sich 37% direkt im Operationssaal befanden. 65% betreuten das IONM über einen Monitor in schnell erreichbarer Nähe und 23% aus einer großen Distanz. Die Ärzte betreuten meist mehrere Patienten simultan [58]. Die Zunahme IONM-basierter Operationen verdeutlichte bereits die Studie von Laratta et al. mit einem Anstieg um 296%, von 31.762 auf 125.835 Eingriffe, in den Jahren 2008-2014 [45].

Heutzutage bieten automatische oder vom Operateur gesteuerte Geräte eine weitere IONM-Überwachungsmöglichkeit, die jedoch nicht für jeden Eingriff geeignet ist [26]. Insgesamt hat sich gezeigt, dass die modernen Alternativen der IONM-Anwendung eine Erleichterung hinsichtlich der personellen Verfügbarkeit bieten, jedoch mit Risiken verbunden sind. Durch den Mangel der fachlichen vor-Ort IONM-Expertise im Operationssaal ist eine potentielle Problemlösung erschwert [26]. Das Telemonitoring führt zusätzlich zu einer verminderten Kommunikationsmöglichkeit und einem Risiko auftretender Übertragungsprobleme [74].

1.9 Repräsentation im G-DRG System

2003 erfolgte in Deutschland die Einführung der Diagnosis Related Groups (G-DRG), mit dem Ziel ein fallpauschalisierendes Vergütungssystem zu implementieren [46].

Grundlage der DRG bieten die ICD und OPS, welche jährlich vom Deutschen Institut für Medizinische Dokumentation und Information (DIMDI) angepasst werden und auf deren Internetseite <https://www.dimdi.de> abrufbar sind. Die OPS des neurophysiologischen

Monitorings findet sich im Kapitel 8 unter 8-925 ff.. Entsprechend der DRG-Logik den personellen und zeitlichen Aufwand abzubilden, wird die Komplexität der verwendeten Methoden mit der Kategorisierung der Dauer von unter 4, 4-8, 8-12 und über 12 Stunden verbunden [17, 35]. Die Zeitspanne erstreckt sich von dem Anlegen bis zur Abnahme der Elektroden [17]. Da ab einer Dauer von 4 Stunden ein relevanter personeller und zeitlicher Mehraufwand entsteht, führt bei intrakraniellen und intraspinalen Eingriffen eine Kodierung zu einer Änderung der Basis DRG und zu einer erhöhten Entgeltrelevanz [35]. Im Kontext dieses Surveys ist es erwähnenswert, dass eine Änderung der Entgeltrelevanz nur aus neurochirurgischen Diagnosen mit intraduralen Pathologien zu erreichen ist. Bei rein ossären Prozessen muss ebenfalls eine neurochirurgische Basisdiagnose in Kombination mit relevanten Nebendiagnosen vorliegen, um eine Erhöhung der Entgeltrelevanz zu erreichen. Diese wurde und wird bislang nie mit orthopädischen, unfallchirurgischen oder traumatologischen Diagnosen erreicht [35].

1.10 Charakteristika einer Onlinesurvey

Onlineumfragen bieten eine einfache, kostengünstige und schnelle Möglichkeit, epidemiologische Daten eines definierten Umfragekollektivs zu ermitteln. Personalisierte Einladungen und Erinnerungsschreiben können automatisch generiert werden, was zu einer Zeitersparnis und einer Verbesserung der Rücklaufquote führt [61]. Der Umfragegestalter hat die Option, das Antwortverhalten und den Antwortprogress online und in Echtzeit zu verfolgen und jene Teilnehmer zu kontaktieren, welche die Umfrage nicht geöffnet und bearbeitet haben [61]. Dieses Vorgehen erweist sich als sinnvoll, da in Einzelfällen die Umfrage-E-mails als Spam klassifiziert und folglich nicht gelesen werden [54]. Nach Abschluss der Umfrage besteht die Möglichkeit der direkten Datenübermittlung zu weiterführenden Statistikprogrammen.

Die Herausforderung der Onlinesurveys besteht in einer überschaubaren, verständlichen und ansprechenden Gestaltung sowie einer Prüfung auf Praktikabilität und Funktionalität. Die Fragen und Antwortmöglichkeiten müssen kurz, einfach und unmissverständlich sein, um Fehlinterpretationen zu vermeiden [61]. Sehr lange Surveys und umfangreiche Fragen senken die Rücklaufquote signifikant [54]. Es empfiehlt sich vor dem finalen Versenden der Umfrage eine Prüfung in Papierform durchzuführen, die von einem ausgewählten Kollektiv auf Verständlichkeit, Relevanz und zeitlichen Umfang bewertet wird [54, 61]. Neben dem Aufbau der Umfrage, spielt die vertrauliche Übermittlung der

Daten eine wichtige Rolle. Diese kann durch das Versenden individueller Zugangsschlüssel und einer Pseudonymisierung gewährleistet werden [61].

Im Vergleich zu persönlichen Interviews unterbindet die Onlineumfrage diverse Arten des Bias, wie einem Interviewer- oder Anwesenheitseffekt [4]. Eine Vermeidung des Recall- und Responsebias sowie der Antwortverzerrung und des Retrospektionseffektes können auch durch eine Onlinesurvey nicht vermieden werden [4, 61].

2 Zielsetzung

Die Nutzung des IONM ist bereits in der spinalen Neurochirurgie sowie der orthopädischen Skoliosekorrektur etabliert und gewinnt zunehmend an Bedeutung. Obwohl in der Vergangenheit multiple Studien durchgeführt wurden, welche die Vorteile des IONM verdeutlichen [19, 74, 84, 90, 100], existieren derzeit keine standardisierten Empfehlungen zu dessen Anwendung und Einsatzspektrum.

Es obliegt somit den einzelnen Kliniken, ob und für welche Eingriffe das IONM eingesetzt wird.

Je nach Klinik und angebotenen Leistungsspektrum entsteht hierdurch eine große Heterogenität, die kritisch zu hinterfragen ist.

Die aktuell durchgeführte Querschnittsstudie soll nun die epidemiologischen Basisdaten hinsichtlich Art und Anzahl spinaler Eingriffe sowie die Anwendung und Indikation des IONM und die organisatorische Umsetzung ermitteln. Des Weiteren wird die Zufriedenheit der Kliniken in Hinblick auf den aktuellen Stand des IONM und dessen klinikinterne Nutzung erhoben.

Folglich dient die durchgeführte Datenerhebung dazu, das quantitative Einsatzspektrum und die zunehmende Relevanz des spinalen IONM in Deutschland, Österreich und der deutschsprachigen Schweiz zu verdeutlichen.

3 Methodik

3.1 Studiendesign

Bei der vorliegenden prospektiven Querschnittsstudie wurden die relevanten Daten mittels eines Onlinefragebogens erhoben.

Das positive Ethikvotum wurde vor dem Studienbeginn von der Ethikkommission der Ludwig-Maximilians-Universität München zuerkannt (Projekt-Nr. 17-297).

Der Umfragezeitraum betrug 5 Monate und erstreckte sich vom 29.11.2017 bis zum 29.04.2018.

3.2 Kollektiv

3.2.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Das Zielkollektiv der Umfrage umfasste Kliniken in Deutschland, Österreich und der deutschsprachigen Schweiz, welche in ihrem operativen Leistungsspektrum Eingriffe im Bereich des zentralen Nervensystems bzw. der Wirbelsäule listeten.

Demnach wurden Fachabteilungen der Neurochirurgie, Wirbelsäulenchirurgie, Orthopädie und Unfallchirurgie aller Versorgungsstrukturen (Universitätskliniken, nicht-universitäre Krankenhäuser, Privatkliniken) in die Studie eingeschlossen.

3.2.2 Rekrutierung Kliniken

Die einzelnen Krankenhäuser konnten einerseits mit Hilfe der spezifischen Fachgesellschaften, andererseits durch eine umfangreiche Onlinerecherche ermittelt werden.

In Deutschland wurden uns die zutreffenden Kliniken von der Deutschen Gesellschaft für Neurochirurgie (DGNC) zur Verfügung gestellt. Die Österreichische Gesellschaft für Wirbelsäulenchirurgie gab uns Auskunft über die entsprechenden Kliniken in Österreich. Die schweizerischen Krankenhäuser wurden uns von der Schweizerischen Gesellschaft für Neurochirurgie (SGNC) sowie der Schweizerischen Gesellschaft für Spinale Chirurgie (SGS) übermittelt.

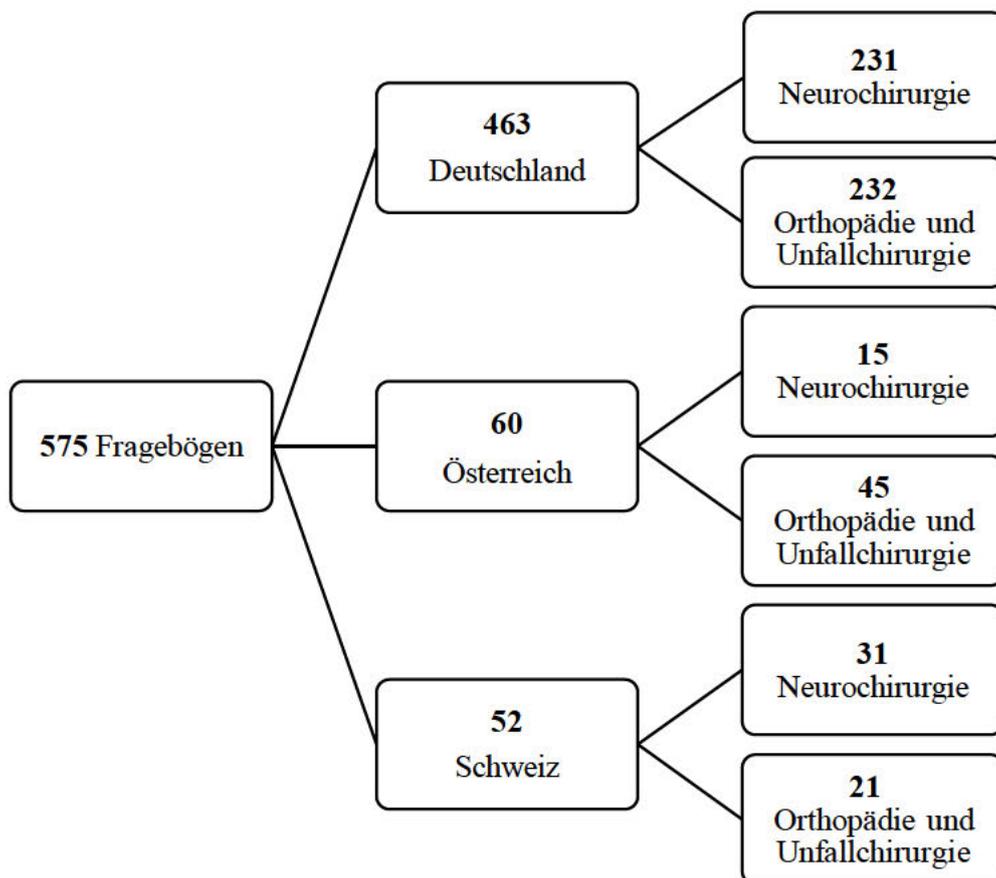
Insbesondere die orthopädischen und unfallchirurgischen Kliniken wurden durch eine weiterführende Onlinerecherche mit den Suchbegriffen „Klinik + spinale Chirurgie“ und „Klinik + Wirbelsäulenchirurgie“ ermittelt. Zusätzlich wurden die einzelnen Krankenhäuser online über das Deutsche Krankenhausverzeichnis, das Öffentliche

Gesundheitsportal Österreichs und einer Liste der Spitäler auf www.comparis.ch eruiert. Auf den Homepages der einzelnen Kliniken wurde das Leistungsspektrum mit den Einschlusskriterien verglichen und zutreffende Krankenhäuser in das Studienkollektiv aufgenommen. Abschließend erfolgte eine Prüfung auf Doppelungen.

3.2.3 Verteilung der Fragebögen

Es wurden insgesamt 575 Fragebögen versendet. Davon verteilten sich 463 auf deutsche, 60 auf österreichische und 52 auf schweizerische Kliniken. Diese wurden jeweils an die Direktoren bzw. ärztlichen Vertreter der Orthopädie, Unfallchirurgie und Neurochirurgie der teilnehmenden Kliniken adressiert.

Abb. 3: Verteilung der Fragebögen auf die Länder und Fachabteilungen



3.3 Fragebogen

Der Fragenkatalog unserer Umfrage wurde interdisziplinär an der Ludwig-Maximilians-Universität München unter der Leitung von Frau Prof. Dr. med. A. Szelényi und Herrn Dr. med. S. Siller erstellt.

Er wurde in Rücksprache mit der Sektion Neuromonitoring der Deutschen Gesellschaft für Neurochirurgie (DGNC) und der Deutschen Wirbelsäulen Gesellschaft (DWG) als geeignet gewertet und unterstützt.

Am 11.03.2017 wurde bereits der erste Entwurf unserer Umfrage auf der Sektionstagung Neurophysiologie der DGNC in Bern an ein Kollektiv zur Testung verteilt. Die Gruppe setzte sich aus Ärzten der städtischen und ländlichen Regionen sowie universitären, nicht-universitären und privaten Kliniken zusammen. Durch das Feedback der Teilnehmer konnten wir die Qualität der finalen Umfrage bezüglich der Verständlichkeit und Relevanz der einzelnen Fragen optimieren.

Im Anschluss erstellten wir unsere abschließende Umfrage, welche insgesamt 36 Fragen enthielt. Diese unterteilten sich in 17 Fragen der Kategorie Einfachauswahl, 6 der Kategorie Mehrfachauswahl und 13 der Kategorie Freitextantwort.

Zur Erfassung der epidemiologischen Basisdaten des spinalen IONM wurden verschiedene Aspekte ermittelt. Diese enthielten die Häufigkeit kategorischer spinaler Eingriffe, die quantitative Nutzung des IONM und die Verwendung der möglichen Modalitäten. Auch die technische Umsetzung, Durchführung und Auswertung des IONM sowie die Schulung des zuständigen Personals wurden erfragt. Zusätzlich wurden die Basisdaten der teilnehmenden Krankenhäuser ermittelt.

Die Kliniken wurden gebeten anzugeben, ob es bisher Probleme in Hinblick auf falsch-positive oder falsch-negative Messungen gab. Abschließend wurde die Zufriedenheit in Bezug auf die klinikinterne und klinikübergreifende Qualität des IONM und dessen monetärer Pauschalvergütung evaluiert. Die Teilnehmer wurden um Verbesserungsvorschläge und die Angabe von Kritikpunkten gebeten.

Eine detaillierte Auflistung der einzelnen Fragen findet sich in Tab.3.

Tab. 3: Fragenkatalog der Umfrage

Anmerkung zum Fragentyp: E=Einfachauswahl, M=Mehrfachauswahl, F=Freitextantwort

Typ:	Frage:	Antwortmöglichkeiten:
E	In welchem Land befindet sich Ihre Klinik?	- Deutschland - Österreich - Schweiz
E	Wie ist Ihre Klinik am zutreffendsten einzuordnen?	- Krankenhaus der Maximalversorgung - Krankenhaus der Regelversorgung - Spezialklinik (z.B. Wirbelsäulenzentrum) - Sonstige: (Freitext)
E	Wie viele spinale Eingriffe werden pro Jahr in Ihrer Klinik/Abteilung durchgeführt?	- <150 - 150-350 - 350 – 600 - >600
E	Wie viele spinale Eingriffe werden hierbei unter IONM pro Jahr in Ihrer Klinik/Abteilung durchgeführt?	- <50 - 50-100 - 100-150 - >150
E	Wie viele spinale Eingriffe entfallen hierbei in die Kategorie Degeneration?	<u>gesamt:</u> - <50 - 50-200 - 200-500 - >500 <u>Davon unter IONM:</u> - <25 - 25-100 - 100-250 - >250
E	Wie viele spinale Eingriffe entfallen hierbei in die Kategorie Trauma?	<u>Gesamt:</u> - <30 - 30-100 - 100-300 - >300 <u>Davon unter IONM:</u> - <15 - 15-50 - 50-150 - >150
E	Wie viele spinale Eingriffe entfallen hierbei in die Kategorie skoliotische Veränderungen?	<u>Gesamt:</u> - <20 - 20-50 - 50-100 - >100 <u>Davon unter IONM:</u> - <10 - 10-25 - 25-50 - >50
E	Wie viele spinale Eingriffe entfallen hierbei in die Kategorie Raumforderung?	<u>Gesamt:</u> - <10 - 10-20 - 20-50 - >50 <u>Davon unter IONM:</u> - <5 - 5-10 - 10-20 - >20
F	Für welche spinalen Eingriffe sehen Sie den Einsatz von IONM als unverzichtbar an?	(Freitext)
M	Im Fall der Anwendung des IONM bei spinalen Eingriffen: Welche IONM-Modalitäten stehen Ihnen prinzipiell zur Verfügung?	- somatosensibel evozierte Potentiale (SEP) - motorisch evozierte Potentiale (MEP) - spinale MEP (D-Welle) - direkte Nervenstimulation (inkl. Pedicle-Screw-Monitoring)
E	In Bezug auf intradurale Raumforderungen: Wie verteilen sich die intramedullären Eingriffe der Häufigkeit nach (Platz 1-3) auf die einzelnen Wirbelsäulensegmente? 1) zervikal 2) thorakal 3) lumbal/Konus	- 1 - 2 - 3
E	Wann wird spinales IONM in Ihrer Abteilung/Klinik bei intramedullären Eingriffen angewandt?	- immer - nie - nur bei folgenden Eingriffen: (Freitext)

M	Im Falle der Anwendung des IONM bei spinalen Eingriffen (Operationen an Wirbelsäule und/oder Rückenmark): Welche IONM-Modalitäten verwenden Sie routinemäßig für.... ...zervikale Eingriffe: ...thorakale Eingriffe: ...lumbale Eingriffe:	- SEP - MEP - spinale MEP (D-Welle) - direkte Nervenstimulation (inkl. Pedicle-Screw-Monitoring) - freilaufendes EMG
M	Wie ist die technische Umsetzung, die Überwachung sowie die Interpretation und Datenauswertung des spinalen IONM in Ihrer Abteilung/Klinik organisiert? 1) Die technische Durchführung erfolgt durch.... 2) Die Überwachung erfolgt durch... 3) Die Interpretation und Auswertung erfolgt durch...	- eine interne angeleitete Assistenzkraft (OTA, RTA, etc.) - eine speziell hierfür geschulte und ausgebildete MTA - den für die Operation zugeteilten Assistenzarzt - den für die Operation verantwortlichen Oberarzt - neurologischer Facharzt - anästhesiologischer Facharzt - Leistung über Konsil des eigenen Hauses - Leistung über Konsil eines externen Hauses - Leistung über Konsil eines externen Dienstleisters - Sonstige: (Freitext)
M	Wie erfolgt die Schulung des im IONM tätigen Personals?	- NCAFW-Kurs - DGKN-Kurs - DGAI-Kurs - nicht relevant, da geschultes Personal von extern (Hersteller, etc.) - Sonstige: (Freitext)
M	Was wäre für Sie die optimale Lösung?	- MTA – qualifizierter Arzt - MTA – Assistenzarzt aus Ihrem eigenen Fachbereich - Fremdfirma - Sonstige:
E	Im Hinblick auf das spinale IONM in Ihrer Abteilung/Klinik: Wie zufrieden sind sie mit der Qualität der... 1) technischen Durchführung 2) Überwachung 3) Interpretation/Auswertung	- 1 (sehr gut) - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 (ungenügend)
F	Ihre Kritikpunkte und Verbesserungsvorschläge zur Qualität der technischen Durchführung:	(Freitext)
F	Ihre Kritikpunkte und Verbesserungsvorschläge zur Qualität der Überwachung:	(Freitext)
F	Ihre Kritikpunkte und Verbesserungsvorschläge zur Qualität der Interpretation/Auswertung:	(Freitext)
M	Haben Sie Probleme mit einigen der im Folgenden aufgeführten Aspekte?	- zeitliche Verfügbarkeit von IONM-Ressourcen - technische Schwierigkeiten der Abteilung - mangelhafte Schulung von Hersteller-Mitarbeitern - häufig falsch-positive IONM-Resultate - häufig falsch-negative IONM-Resultate
E	Haben Sie schon ein falsch-negatives spinales IONM erlebt?	- ja - nein
F	Wenn ja, bitte Situation schildern:	(Freitext)
E	Wie häufig schätzen Sie die falsch-negativen spinalen IONM-Ereignisse in Ihrer Klinik/Abteilung ein?	- häufig - gelegentlich - selten
F	Ihre Kritikpunkte und Verbesserungsvorschläge:	(Freitext)
E	Haben Sie schon ein falsch-positives spinales IONM erlebt?	- ja - nein
F	Wenn ja, bitte Situation schildern:	(Freitext)
E	Wie häufig schätzen Sie die falsch-negativen spinalen IONM-Ereignisse in Ihrer Klinik/Abteilung ein?	- häufig - gelegentlich - selten

F	Ihre Kritikpunkte und Verbesserungsvorschläge:	(Freitext)
F	Was war für Sie/Ihr Team das erfreulichste IONM-Erlebnis?	(Freitext)
F	Was war für Sie/Ihr Team das unerfreulichste IONM-Erlebnis?	(Freitext)
F	Wie sollte die Qualität des spinalen IONM Ihrer Meinung nach in Ihrer Klinik gesteigert werden?	(Freitext)
F	Wie sollte die Qualität des spinalen IONM Ihrer Meinung nach im deutschsprachigen Raum gesteigert werden?	(Freitext)
E	Finden Sie, dass das spinale IONM Ihrer Meinung nach in Hinblick auf dessen monetäre Vergütung im Rahmen von DRG-wirksamen Fallpauschalen im deutschsprachigen Raum ausreichend abgebildet wird?	- im Großen und Ganzen ja - nur zum Teil - nein, nicht ausreichend
F	Ihre Kritikpunkte und Verbesserungsvorschläge	(Freitext)
E	Bei ausreichender Verfügbarkeit des IONM würde ich in Zukunft die Indikationsstellung für dessen Anwendung in unserer Klinik/Abteilung...	- erweitern - als ausreichend einstufen - herabsetzen

3.4 Ablauf der Umfrage

Die Datenerhebung der Kliniken erfolgte mittels Onlineumfrage, die von uns mit dem Programm Lime Survey Version 2.06+ erstellt wurde. Die Lizenz wurde von der LMU München zur Verfügung gestellt.

Vor dem Versenden führten wir in unserer Klinik einen Probelauf durch, um die Funktionalität der Onlinebefragung und des Programmes zu kontrollieren. Nach erfolgreichem Testlauf wurde die Umfrage am 29.11.2017 an unser ausgewähltes Zielkollektiv elektronisch versendet.

Die jeweiligen Repräsentanten der Fachbereiche erhielten per Email ein Anschreiben, welches die Durchführung und das Ziel der Studie detailliert erläuterte.

Bei Rückfragen hatten die Teilnehmer die Möglichkeit uns telefonisch oder per Email zu kontaktieren.

Es erfolgte eine ausführliche Studienaufklärung und die Information über das positive Ethikvotum. Die signierte Einverständniserklärung zur Studienteilnahme wurde uns von den Teilnehmern per Fax, E-Mail oder postalisch zugesendet.

Zusammen mit dem Anschreiben wurde den Studienteilnehmern ein individueller Zugangsschlüssel übermittelt, mit dem die Umfrage über eine weiterführende Internetseite aktiviert und bearbeitet werden konnte.

Bei ausbleibender Rückmeldung erhielten die Teilnehmer zwei schriftliche Erinnerungen per Email, gefolgt von einer telefonischen Kontaktaufnahme. Teilnehmer, die kein Interesse an der Umfrage bekundeten, wurden nach dem Grund gefragt und aus dem weiteren Verlauf ausgeschlossen.

Die abschließende Auswertung der einzelnen Fragebögen erfolgte pseudonymisiert. Hierbei wurden sowohl der Teilnehmer- als auch der Klinikbezug mittels randomisierter numerischer ID unkenntlich gemacht.

3.5 Kategorisierung und Datenanalyse

Um eine Datenanalyse unterschiedlicher Subkategorien zu ermöglichen, erfolgte eine exakte Definition.

Die Versorgungsstufen wurden in Kliniken der Grund- (GV), Zentral- (ZV) und Maximalversorgung (MV) mit <600, 600-1.500 und >1.500 Betten unterschieden.

Die topographische Lage wurde als ländlich und städtisch mit über bzw. unter 100.000 Einwohner festgelegt.

Hinsichtlich der Fachabteilung wurden die Orthopädie und Unfallchirurgie (ORUC) in der Auswertung zusammengefasst, die Neurochirurgie (NC) hingegen einzeln betrachtet.

3.6 Statistische Methode

Die Datenerfassung unserer Umfrage erfolgte mit Microsoft Excel 2013, die statistische Auswertung mit dem Programm IBM SPSS Statistics 25, welches von der LMU München zur Verfügung gestellt wurde.

Es wurden sowohl die absoluten, als auch die relativen Zahlen des Umfragerücklaufs und der Verteilung der nominalen Antworten ermittelt. Hierbei basieren die relativen Werte jeweils auf der Anzahl der Antworten, welche in das Verhältnis zu den befragten Teilnehmern gesetzt wurden. Die Freitextantworten der jeweiligen Fragen wurden entsprechend der inhaltlichen Übereinstimmung als Cluster zusammengefasst und ausgewertet.

Mithilfe des χ^2 -Unabhängigkeitstests wurden signifikante Abweichungen der erwarteten und beobachteten Werte erfasst und in den Subkategorien analysiert. Das Signifikanzniveau wurde mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ definiert.

Es erfolgte sowohl eine Auswertung des gesamten Studienkollektivs, als auch diverser Unterkategorien.

Die graphische Visualisierung der Balkendiagramme und Tabellen wurde mit SPSS 25 sowie mit Microsoft Excel 2013 erstellt.

4 Ergebnisse

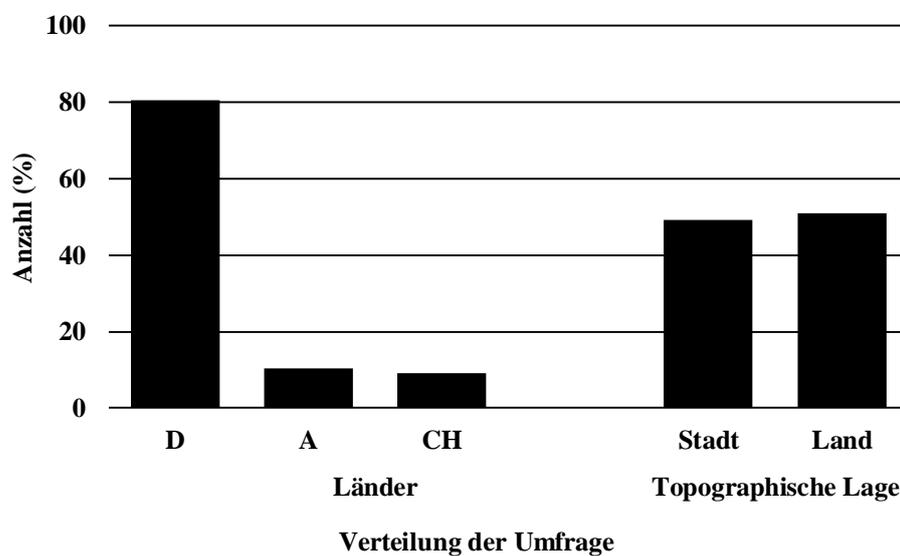
4.1 Charakteristika der befragten Abteilungen

Insgesamt konnten 575 Abteilungen in unsere Umfrage eingeschlossen werden.

Es verteilten sich 463 Fragebögen (80,5%) auf deutsche, 60 (10,4%) auf österreichische und 52 (9,0%) auf schweizerische Kliniken.

Hierbei befanden sich 283 (49,2%) Abteilungen in einer städtischen und 292 (50,8%) in einer ländlichen Region.

Abb. 4: Verteilung der Umfrage auf die Länder und topographische Lage

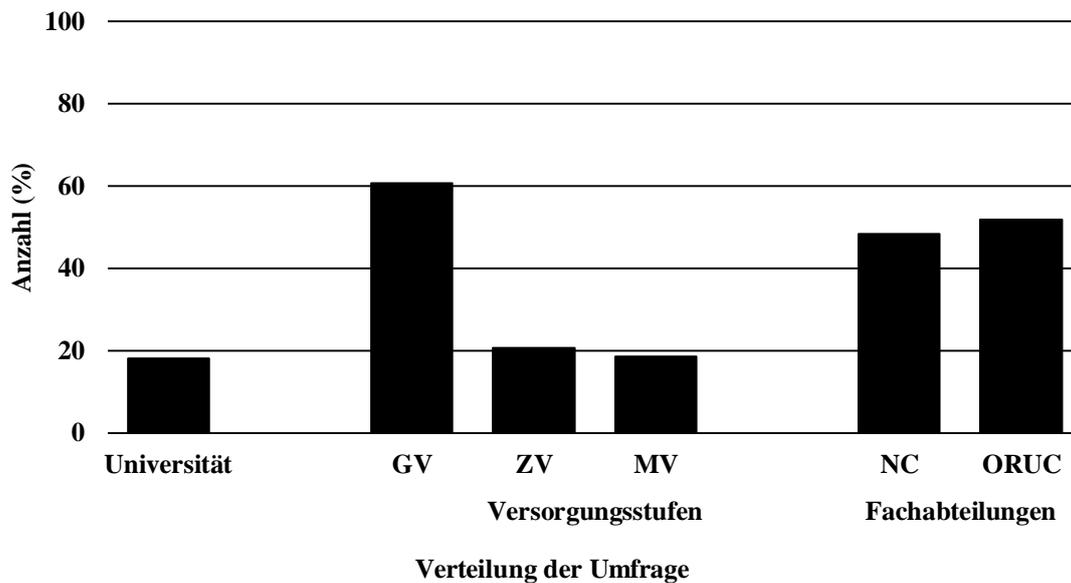


Anmerkung: D=Deutschland, A=Österreich, CH=Schweiz

Hinsichtlich der Fachbereiche erhielt die neurochirurgische 277 (48,2%) und die orthopädische, unfallchirurgische Wirbelsäulenchirurgie 298 (51,8%) Fragebögen.

Es nahmen 394 (60,7%) Kliniken der Grundversorgung, 119 (20,7%) Kliniken der Zentralversorgung und 107 (8,6%) Kliniken der Maximalversorgung an der Umfrage teil. Bei 104 (18,1%) Adressaten handelte es sich um Abteilungen der Universitätskliniken, wobei sich 81 in Deutschland, 16 in Österreich und 7 in der Schweiz befanden.

Abb. 5: Verteilung der Umfrage auf die Versorgungsstufen und Fachabteilungen



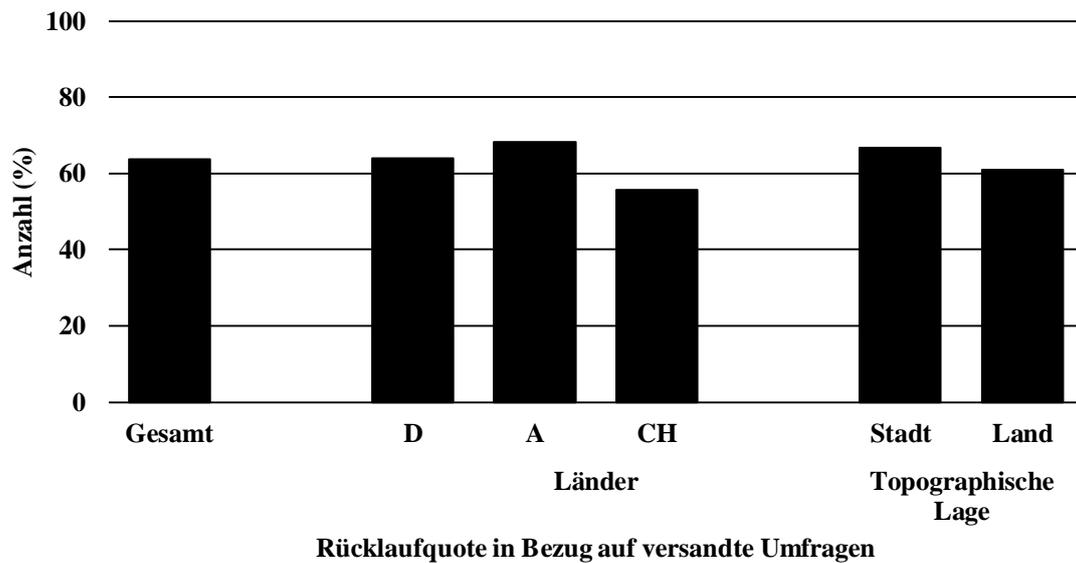
Anmerkung: GV=Grund-, ZV=Zentral-, MV=Maximalversorgung, NC=Neurochirurgie, ORUC=Orthopädie und Unfallchirurgie

4.2 Rücklaufquote der kontaktierten Abteilungen

Nach Abschluss der Umfrage am 29.04.2018 nahmen von den 575 Befragten insgesamt 367 teil, was zu einer Rücklaufquote von 63,8% führte.

Es handelte sich um 297 (64,1%) Abteilungen in Deutschland, 41 (68,3%) in Österreich und 29 (55,8%) in der Schweiz. 189 (66,8%) befanden sich in einer städtischen und 178 (55,8%) in einer ländlichen Region. Jene Abteilungen, die auf Nachfrage hin kein Interesse an einer Umfrageteilnahme bekundeten, wurden aus dem weiteren Verlauf ausgeschlossen.

Abb. 6: Rücklaufquote nach Land und topographischer Lage

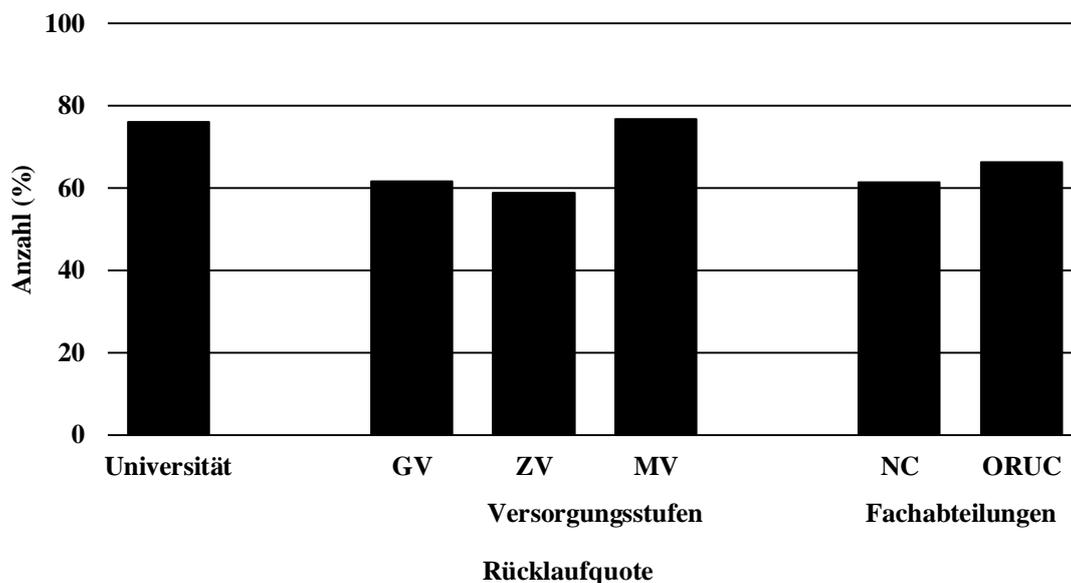


Anmerkung: D=Deutschland, A=Österreich, CH=Schweiz

Wir erhielten 170 (61,4%) Antworten von den neurochirurgischen und 197 (66,1%) von den orthopädischen, unfallchirurgischen Wirbelsäulenzentren.

In Bezug auf die Versorgungsstufen erreichten wir bei den Kliniken der Grundversorgung einen Rücklauf von 215 (54,6%), bei den Kliniken der Zentralversorgung von 70 (58,8%) und bei den Kliniken der Maximalversorgung von 82 (76,6%) Antworten. Die Universitätskliniken waren mit 79 (76,0%) Abteilungen vertreten.

Abb. 7: Rücklaufquote nach Versorgungsstufe und Fachabteilung



Anmerkung: GV=Grund-, ZV=Zentral-, MV=Maximalversorgung, NC=Neurochirurgie, ORUC=Orthopädie und Unfallchirurgie

Es ergaben sich in der Verteilung nur geringe länderspezifische Unterschiede. In Österreich lag der Anteil der Umfrageteilnehmer aus dem Fachbereich der Neurochirurgie höher (vs. D $p < 0,001$, vs. CH $p < 0,001$). In Deutschland hingegen entstammten mehr Umfrageteilnehmer aus Kliniken der städtischen Region (vs. A $p = 0,016$, vs. CH $p = 0,001$).

In Deutschland und der Schweiz zeigte sich eine größere Rücklaufquote in den Kliniken der Maximalversorgung, welcher sich auch in der Gesamtverteilung widerspiegelte. Insbesondere in Deutschland wiesen zudem die Universitätskliniken eine größere Teilnahme auf.

Die genaue Verteilung der Umfragen und die Rücklaufquote der einzelnen Länder zeigen sich in Tab.4. Hierbei wurden die Kategorien „Länder“, „topographische Lage“, „Fachabteilungen“, „Versorgungsstufen“ und die „Universitätskliniken“ im Detail betrachtet.

Tab. 4: Verteilung der Umfragen und Rücklaufquoten der einzelnen Länder

Kategorie		Versendete Umfragen N (%)	Rücklaufquote N (%)	Sign. (p)
<u>Gesamt:</u>		575 (100)	367/575 (63,8)	
Länder:	D:	463/575 (80,5)	297/463 (64,1)	0,523 vs. A
	A:	60/575 (10,4)	41/60 (68,3)	0,171 vs. CH
	CH:	52/575 (9,0)	29/52 (55,8)	0,235 vs. D
Lage:	Stadt:	283/575 (49,2)	189/283 (66,8)	0,146 <i>gesamt</i>
	Land:	292/575 (50,8)	178/292 (61,0)	
Fach- abteilungen:	NC:	277/575 (48,2)	170/277 (61,4)	0,238 <i>gesamt</i>
	ORUC:	298/575 (51,8)	197/298 (66,1)	
Versorgungs- stufen:	GV:	349/575 (60,7)	215/349 (61,6)	0,591 vs. ZV
	ZV:	119/575 (20,7)	70/119 (58,8)	0,004 vs. MV
	MV:	107/575 (18,6)	82/107 (76,6)	0,004 vs. GV
Universitäts- kliniken:	Ja:	104/575 (18,1)	79/104 (76,0)	0,004 <i>gesamt</i>
	Nein:	471/575 (81,9)	183/471 (38,9)	
<hr/>				
<u>Deutschland:</u>		463/575 (80,5)	297/463 (64,1)	
Lage:	Stadt:	246/463 (53,1)	163/246 (66,3)	0,313 <i>gesamt</i>
	Land:	217/463 (46,9)	134/217 (61,8)	
Fach- abteilungen:	NC:	231/463 (49,9)	139/231 (60,2)	0,075 <i>gesamt</i>
	ORUC:	232/463 (50,1)	158/232 (68,1)	
Versorgungs- stufen:	GV:	278/463 (60,0)	175/278 (62,9)	0,295 vs. ZV
	ZV:	100/463 (21,6)	57/100 (57,0)	0,005 vs. MV
	MV:	85/463 (18,4)	65/85 (76,5)	0,021 vs. GV
Universitäts- kliniken:	Ja	81/463 (17,5)	62/81 (76,5)	0,010 <i>gesamt</i>
	Nein	382/463 (82,5)	235/382 (61,5)	
<hr/>				
<u>Österreich:</u>		60/575 (10,4)	41/60 (68,3)	
Lage:	Stadt:	22/60 (36,7)	16/22 (72,7)	0,578 <i>gesamt</i>
	Land:	38/60 (63,3)	25/38 (65,8)	
Fach- abteilungen:	NC:	15/60 (25,0)	12/15 (80,0)	0,262 <i>gesamt</i>
	ORUC:	45/60 (75,0)	29/45 (64,4)	

Versorgungsstufen:	GV:	34/60 (56,7)	24/34 (70,6)	0,327 vs. ZV
	ZV:	11/60 (18,3)	6/11 (54,5)	0,320 vs. MV
	MV:	15/60 (25,0)	11/15 (73,3)	0,845 vs. GV
Universitätskliniken:	Ja	16/60 (26,7)	11/16 (68,8)	0,967 <i>gesamt</i>
	Nein	44/60 (73,3)	30/44 (68,2)	
<hr/>				
Schweiz:		52/575 (9,0)	29/52 (55,8)	
Lage:	Stadt:	15/52 (28,8)	10/15 (66,7)	0,314 <i>gesamt</i>
	Land:	37/52 (71,2)	19/37 (51,4)	
Fachabteilungen:	NC:	31/52 (59,6)	19/31 (61,3)	0,330 <i>gesamt</i>
	ORUC:	21/52 (40,4)	10/21 (47,6)	
Versorgungsstufen:	GV:	37/52 (71,2)	16/37 (43,2)	0,023 vs. ZV
	ZV:	8/52 (15,4)	7/8 (87,5)	0,919 vs. MV
	MV:	7/52 (13,5)	6/7 (85,7)	0,039 vs. GV
Universitätskliniken:	Ja	7/52 (13,5)	6/7 (85,7)	0,086 <i>gesamt</i>
	Nein	45/52 (86,5)	23/45 (51,1)	

Anmerkung: NC=Neurochirurgie, ORUC= Orthopädie und Unfallchirurgie, GV=Grund-, ZV=Zentral-, MV=Maximalversorgung

4.3 Anwendung des IONM

4.3.1 Allgemeine Anwendung

4.3.1.1 Gesamtkollektiv

Insgesamt gaben 158 der 367 (43,1%) Umfrageteilnehmer an, das IONM für spinale Operationen zu verwenden. Bei den neurochirurgischen Wirbelsäulenzentren lag die Anwenderrate bei 75,9%, bei den orthopädischen, unfallchirurgischen Abteilungen bei 14,7%. (NC vs. ORUC $p < 0,001$). In städtischen Kliniken nutzten 51,9% das IONM, in ländlichen Regionen nur 33,7%. (Stadt vs. Land $p < 0,001$).

Vor allem in den Kliniken der Maximal- und Grundversorgung zeigte sich mit 67,1% sowie 58,6% eine große Anwenderrate (GV vs. MV $p < 0,001$, GV vs. ZV $p < 0,001$, ZV vs. MV $p = 0,279$).

Auch in den Universitätskliniken wurde mit 68,4 % eine häufige Anwendung des IONM genannt (Universitätskliniken vs. nicht-Universitätskliniken $p < 0,001$), wobei sich Unterschiede in den Fachabteilungen zeigten. Die neurochirurgischen Universitätskliniken wiesen eine Nutzungsrate von 97,7%, die orthopädischen,

unfallchirurgischen hingegen von 31,4% auf (NC Universitätskliniken vs. ORUC Universitätskliniken $p < 0,001$).

4.3.1.2 Ländervergleich

Im Vergleich zwischen den Ländern zeigte sich bei allen eine signifikant höhere Anwenderrate in der neurochirurgischen Wirbelsäulenchirurgie (NC vs. ORUC: D $p < 0,001$, A $p = 0,009$, CH $p = 0,002$). In Deutschland und der Schweiz nutzten vor allem die Kliniken der Grund- und Maximalversorgung das IONM für spinale Eingriffe (D: GV vs. MV $p < 0,001$, GV vs. ZV $p < 0,001$, CH: GV vs. MV $p = 0,004$, GV vs. ZV $p = 0,016$). Topographisch zeigte sich, dass in Deutschland und Österreich jenes vor allem in städtischen Regionen eingesetzt wurde (Stadt vs. Land: D $p = 0,008$, A $p = 0,002$).

Die detaillierte Auflistung der Anwendung des IONM in Bezug auf die einzelnen Länder findet sich in Tab.5.

Tab. 5: Anwendung des IONM in Deutschland, Österreich und der Schweiz

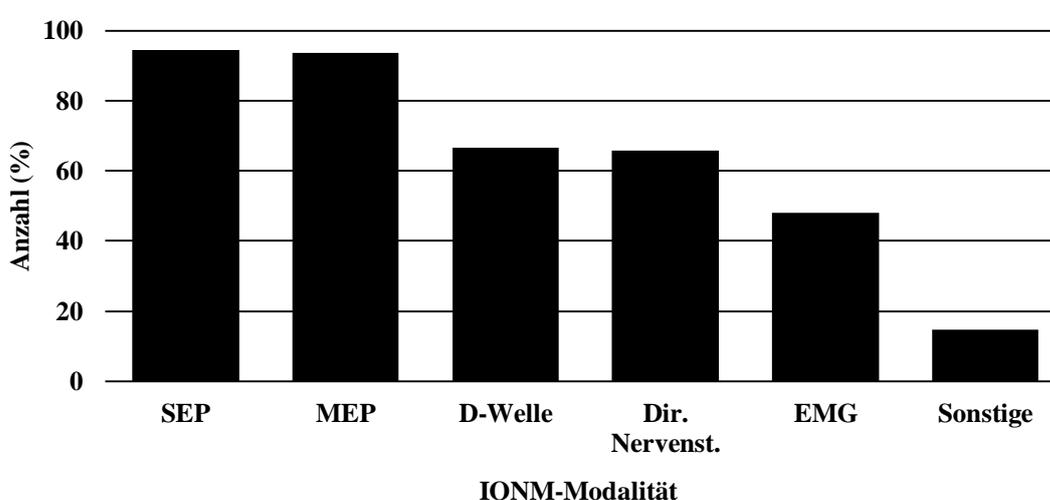
Kategorie		Gesamt N (%)	Deutschland N (%)	Österreich N (%)	Schweiz N (%)
<u>Gesamt:</u>		158/367 (43,1)	129/297 (43,4)	12/41 (29,3)	17/29 (10,8)
<i>Lage:</i>	Stadt:	98/189 (51,9)	82/163 (50,3)	9/16 (56,3)	7/10 (70,0)
	Land:	60/178 (33,7)	47/134 (35,1)	3/25 (12,0)	10/19 (52,6)
	<i>Sign. (p):</i>	<i><0,001 gesamt</i>	<i>0,008 gesamt</i>	<i>0,002 gesamt</i>	<i>0,367 gesamt</i>
<i>Fachabteilungen:</i>	NC:	129/170 (75,9)	107/139 (77,0)	7/12 (58,3)	15/19 (78,9)
	ORUC:	29/197 (14,7)	22/158 (13,9)	5/29 (17,2)	2/10 (20,0)
	<i>Sign. (p):</i>	<i><0,001 gesamt</i>	<i><0,001 gesamt</i>	<i>0,009 gesamt</i>	<i>0,002 gesamt</i>
<i>Versorgungsstufen:</i>	GV:	62/215 (28,8)	53/175 (30,3)	4/24 (16,7)	5/16 (31,3)
	ZV:	41/70 (58,6)	32/57 (56,1)	3/6 (50,0)	6/7 (85,7)
	MV:	55/82 (67,1)	44/65 (67,7)	5/11 (45,5)	6/6 (100,0)
	<i>Sign. (p):</i>	<i><0,001 GV vs. ZV</i> <i><0,001 GV vs. MV</i> <i>0,279 ZV vs. MV</i>	<i><0,001 GV vs. ZV</i> <i><0,001 GV vs. MV</i> <i>0,189 ZV vs. MV</i>	<i>0,084 GV vs. ZV</i> <i>0,070 GV vs. MV</i> <i>0,858 ZV vs. MV.</i>	<i>0,016 GV vs. ZV</i> <i>0,004 GV vs. MV</i> <i>0,335 ZV vs. MV</i>
<i>Universitätskliniken:</i>	Ja:	54/79 (68,4)	43/62 (69,4)	5/11 (45,5)	6/6 (100,0)
	Nein:	104/288 (36,1)	86/235 (36,6)	7/30 (23,3)	11/23 (47,8)
	<i>Sign. (p):</i>	<i><0,001 gesamt</i>	<i><0,001 gesamt</i>	<i>0,168 gesamt</i>	<i>0,021 gesamt</i>

Anmerkung: NC=Neurochirurgie, ORUC= Orthopädie und Unfallchirurgie, GV=Grund-, ZV=Zentral-, MV=Maximalversorgung

4.3.2 Anwendung der einzelnen IONM-Modalitäten

Hinsichtlich der unterschiedlichen IONM-Modalitäten verdeutlichte unsere Auswertung, dass in den teilnehmenden Ländern vor allem das SEP sowie das MEP eingesetzt wurden (94,3% und 93,7%). Auch die Anwendung der D-Welle (66,5%), der direkten Nervenstimulation (65,8%), des EMG (48,1%), und „Sonstige Modalitäten“ (14,6%), wie beispielsweise dem Bulbus Cavernosus-Reflex und dem Hinterstrangmapping, wurden von den Teilnehmern in geringerer Ausprägung genannt.

Abb. 8: Grundsätzliche Anwendung der IONM-Modalitäten



Bezüglich der Verwendung der D-Welle zeigten sich deutliche Unterschiede. Vor allem im Fachbereich der Orthopädie und Unfallchirurgie (37,9% ORUC vs. 72,9% NC) erfolgte die Nutzung dieser Modalität seltener (NC vs. ORUC $p < 0,001$). In Österreich (50,0%) fand sich im Vergleich zu Deutschland (65,9%) und der Schweiz (82,4%) eine geringere Anwendung (A vs. D $p < 0,001$, A vs. CH $p < 0,001$).

Eine ähnliche Verteilung ergab sich in der Anwendung des MEP. Dieses wurde in den neurochirurgischen Wirbelsäulenzentren (96,1% NC vs. 82,8% ORUC) häufiger verwendet (NC vs. ORUC $p = 0,008$). In Österreich (75,0%) erfolgte der Einsatz dieser Modalität im Vergleich zu Deutschland (95,3%) und der Schweiz (94,1%) seltener (D vs. A $p = 0,006$, A vs. CH $p = 0,141$, CH vs. D $p = 0,823$).

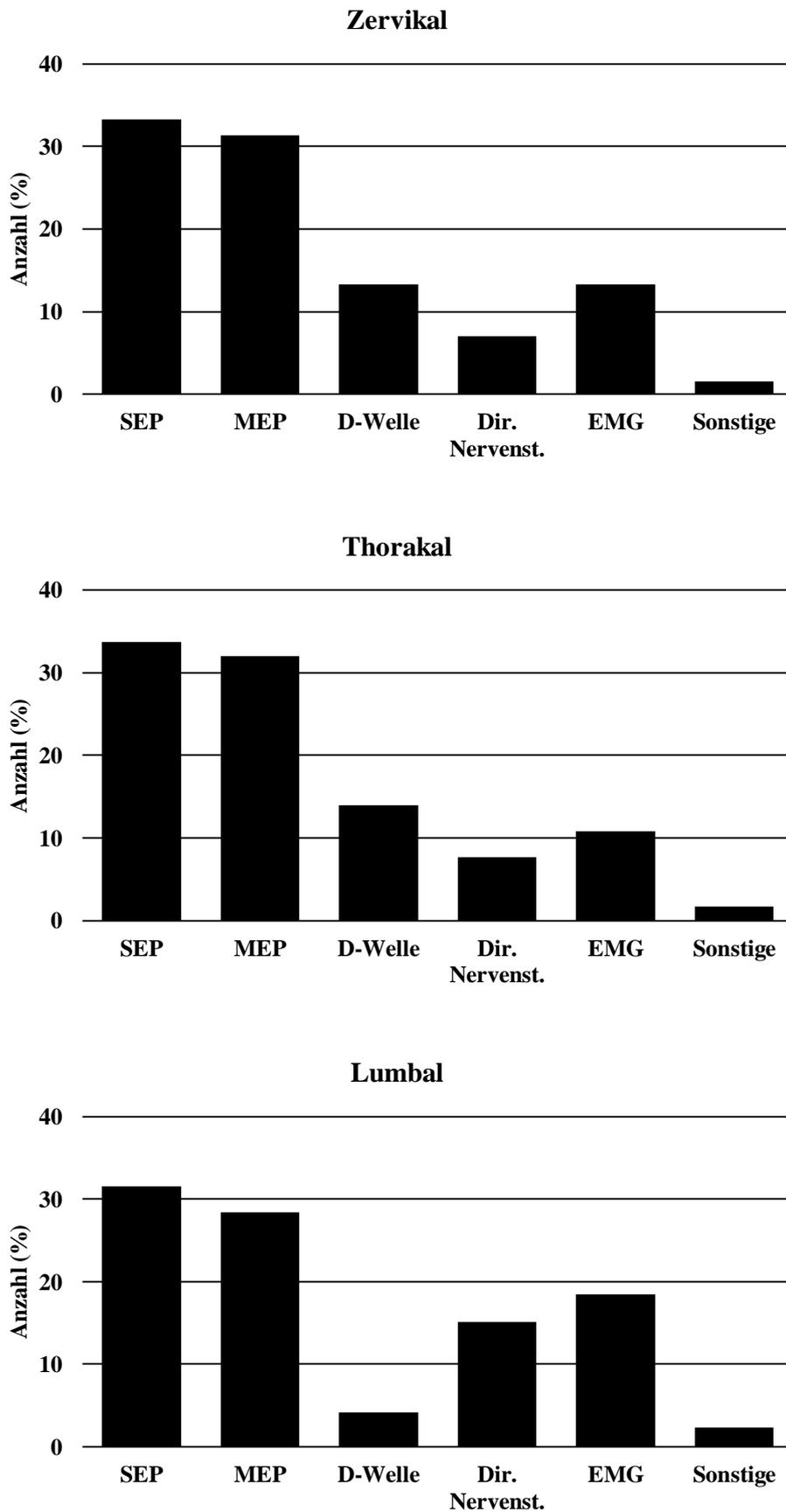
Das SEP (96,1% NC vs. 86,2% ORUC) und EMG (51,9% NC vs. 31,0% ORUC) wiesen in den neurochirurgischen Abteilungen eine größere Anwenderrate auf. (SEP $p = 0,037$, EMG $p = 0,042$).

Die Kliniken der Maximalversorgung (80,0%) wendeten, im Vergleich zu jenen der Grund- (58,1%) und Zentralversorgung (58,5%), die direkte Nervenstimulation deutlich häufiger an (MV vs. GV $p=0,011$, MV vs. ZV $p=0,022$, ZV vs. GV $p=0,962$).

Hinsichtlich der spinalen Operationshöhen zeigten sich vor allem im Bereich der lumbalen Eingriffe Unterschiede, welche auf die anatomischen Gegebenheiten zurückzuführen sind. D-Wellen (lumbal 10,1%, thorakal 36,7%, zervikal 36,1%) werden in diesem Operationsgebiet nicht verwendet, wohingegen die direkte Nervenstimulation (lumbal 36,7%, thorakal 20,3%, zervikal 19,0%) und das EMG (lumbal 45,0%, thorakal 28,5%, zervikal 36,1%) im Vergleich zu der zervikalen und thorakalen Höhe häufiger zum Einsatz kamen (jeweils $p<0,001$).

Abb. 9 verdeutlicht die Nutzung der unterschiedlichen IONM-Modalitäten hinsichtlich der verschiedenen Operationshöhen. Hierbei wird zwischen zervikal, thorakal und lumbal unterschieden.

Abb. 9: Anwendung der IONM-Modalitäten hinsichtlich der Operationshöhe

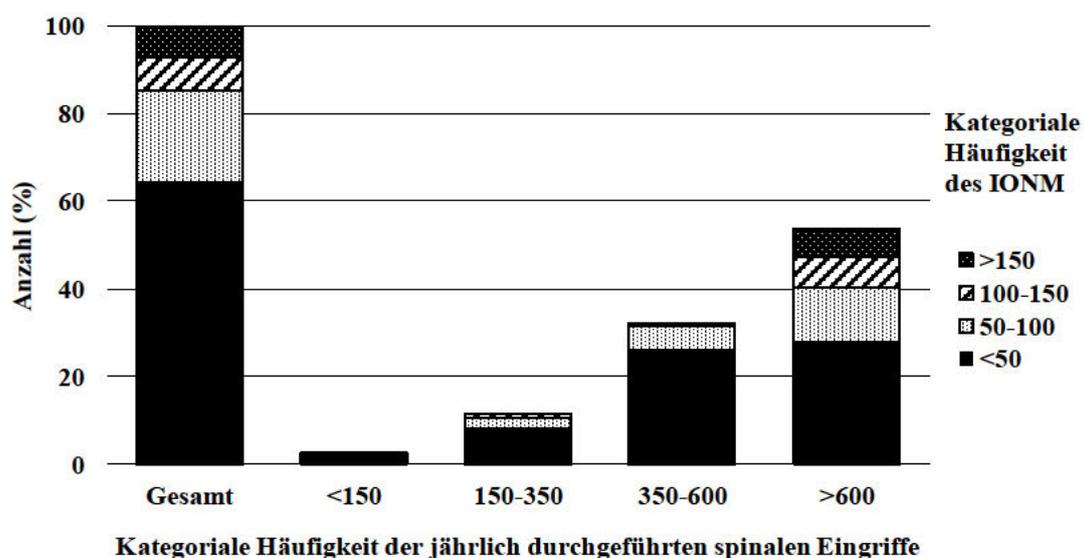


4.4 Jährliche Fallzahlen spinaler Eingriffe und die Anwendung des IONM

Mithilfe unseres Fragebogens konnten wir bei den 158 partizipierenden Abteilungen die quantitative Verteilung der spinalen Eingriffe und den entsprechenden Einsatz des IONM ermitteln. 53,8% der Teilnehmer gaben an, mehr als 600 Eingriffe pro Jahr durchzuführen. 32,3% nannten eine Anzahl von 350-600, 11,4% eine Spanne von 150-350 und 2,5% weniger als 150 spinale Eingriffe pro Jahr.

Hingegen führte die Mehrheit von 93,1% auf, bei weniger als 150 Operationen pro Jahr das IONM einzusetzen. 7,6% verwendeten dieses bei 100-150, 20,9% bei 50-100 und 64,4% bei weniger als 50 Operationen. Dies zeigt sich in Abb. 10.

Abb. 10: Anzahl der spinalen Eingriffe pro Jahr in Bezug auf das Gesamtkollektiv



Von 54,3% der Befragten aus der Neurochirurgie wurden jährlich mehr als 600 Operationen durchgeführt. 35,7% nannten eine Anzahl von 350-600 und 10,1% von 150-350 Operationen. Keine neurochirurgische Abteilung führte weniger als 150 Operationen durch. Die orthopädischen und unfallchirurgischen Kliniken wiesen bei analogen Fallzahlen eine Verteilung 51,7%, 17,2%, 17,2% und 13,8% auf.

Das IONM wurde in der Neurochirurgie von 63,3%, in der Orthopädie und Unfallchirurgie von 69,0% bei weniger als 50 spinalen Eingriffen verwendet.

Abb. 11: Anzahl der spinalen Eingriffe pro Jahr in der Neurochirurgie

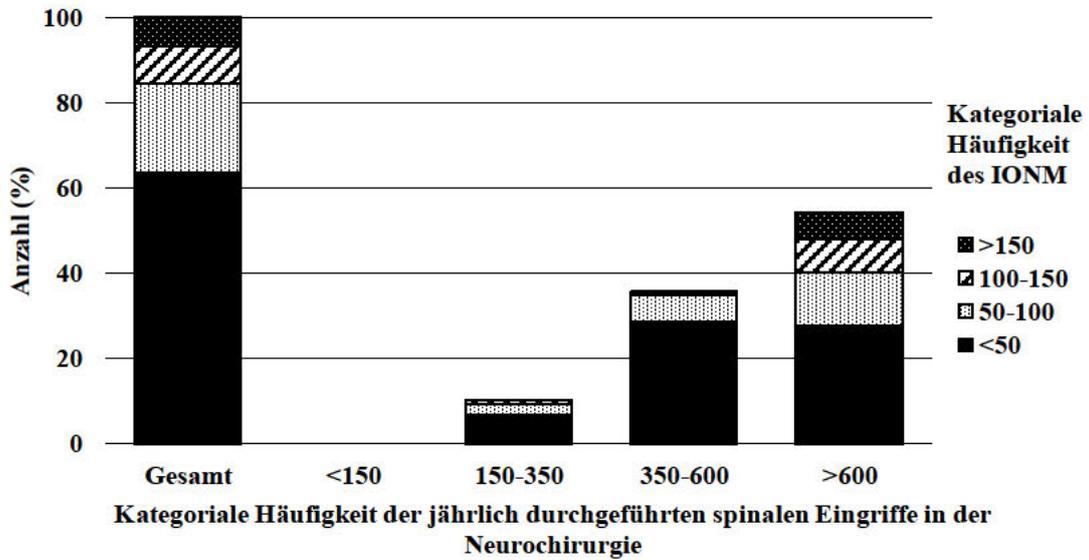
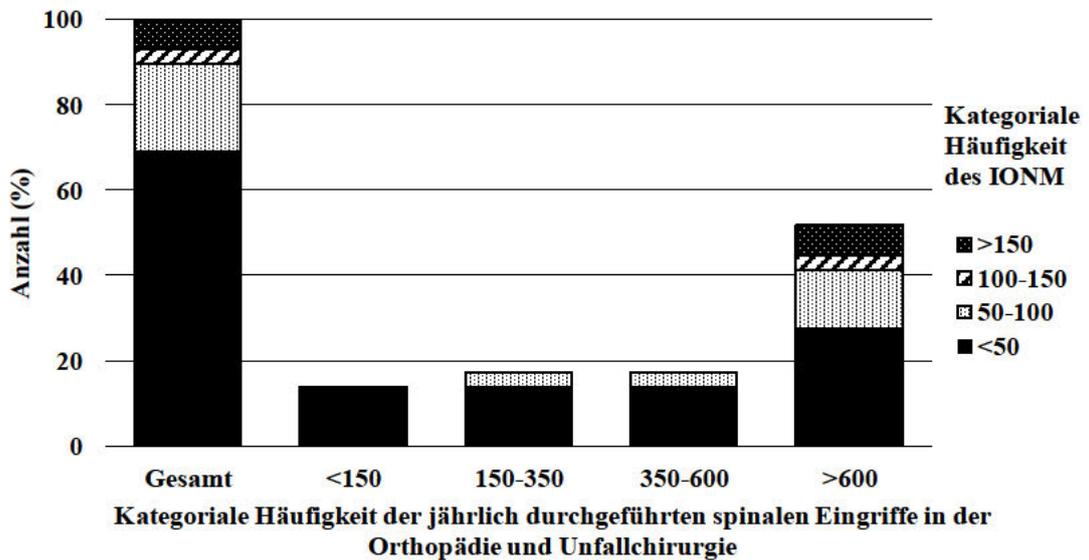


Abb. 12: Anzahl der spinalen Eingriffe pro Jahr in der Orthopädie und Unfallchirurgie



Tab. 6: Jährliche Fallzahlen spinaler Operationen und die quantitative IONM-Anwendung

Kategoriale Häufigkeit:		<150 N (%)	150-350 N (%)	350-600 N (%)	>600 N (%)	Sign. (p)
Anzahl aller Operationen:		4/158 (2,5)	18/158 (11,4)	51/158 (32,3)	85/158 (53,8)	
Land:	D:	2/129 (1,6)	14/129 (10,9)	48/129 (37,2)	65/129 (50,4)	0,008 vs. A
	A:	2/12 (16,7)	2/12 (16,7)	1/12 (8,3)	7/12 (58,3)	0,338 vs. CH
	CH:	0/17 (0,0)	2/17 (11,8)	2/17 (11,8)	13/17 (76,5)	0,170 vs. D
Lage:	Stadt:	2/98 (2,0)	9/98 (9,2)	29/98 (29,6)	58/98 (59,2)	0,345 <i>gesamt</i>
	Land:	2/60 (3,3)	9/60 (15,0)	22/60 (36,7)	27/60 (45,0)	
Fach- abteilungen:	NC:	0/129 (0,0)	13/129 (10,1)	46/129 (35,7)	70/129 (54,3)	<0,001 <i>gesamt</i>
	ORUC:	4/29 (13,8)	5/29 (17,2)	5/29 (17,2)	15/29 (51,7)	
Versorgungs- stufen:	GV:	3/62 (4,8)	7/62 (11,3)	19/62 (30,6)	33/62 (53,2)	0,512 vs. ZV
	ZV:	0/41 (0,0)	4/41 (9,8)	15/41 (36,6)	22/41 (53,7)	0,763 vs. MV
	MV:	1/55 (1,8)	7/55 (12,7)	17/55 (30,9)	30/54,5)	0,840 vs. GV

Kategoriale Häufigkeit:		<50 N (%)	50-100 N (%)	100-150 N (%)	>150 N (%)	Sign. (p)
Anzahl aller Operationen unter IONM:		102/158 (64,6)	33/158 (20,9)	12/158 (7,6)	11/158 (7,0)	
Land:	D:	83/129 (64,3)	25/129 (19,4)	11/129 (8,5)	10/129 (7,8)	0,509 vs. A
	A:	9/12(75,0)	3/12 (25,0)	0/12 (0,0)	0/12 (0,0)	0,628 vs. CH
	CH:	10/17 (58,8)	5/17 (29,4)	1/17 (5,9)	1/17 (5,9)	0,800 vs. D
Lage:	Stadt.:	59/98 (60,2)	23/98 (23,5)	8/98 (8,2)	8/98 (8,2)	0,527 <i>gesamt</i>
	Land:	43/60 (71,7)	10/60 (16,7)	4/60 (6,7)	3/60 (5,0)	
Fach- abteilungen:	NC:	82/129 (63,3)	27/129 (20,9)	11/129 (8,5)	9/129 (7,0)	0,823 <i>gesamt</i>
	ORUC:	20/29 (69,0)	6/29 (20,7)	1/29 (3,4)	2/29 (6,9)	
Versorgungs- stufen:	GV:	43/62 (69,4)	14/62 (22,6)	2/62 (3,2)	3/62 (4,8)	0,405 vs. ZV
	ZV:	32/41 (78,0)	5/41 (12,2)	3/41 (7,3)	1/41 (2,4)	0,030 vs. MV.
	MV:	27/55 (49,1)	14/55 (25,5)	7/55 (12,7)	7/55 (12,7)	0,054 vs. GV

Anmerkung: D=Deutschland, A=Österreich, CH=Schweiz, NC=Neurochirurgie, ORUC= Orthopädie und Unfallchirurgie, GV=Grund-, ZV=Zentral-, MV=Maximalversorgung

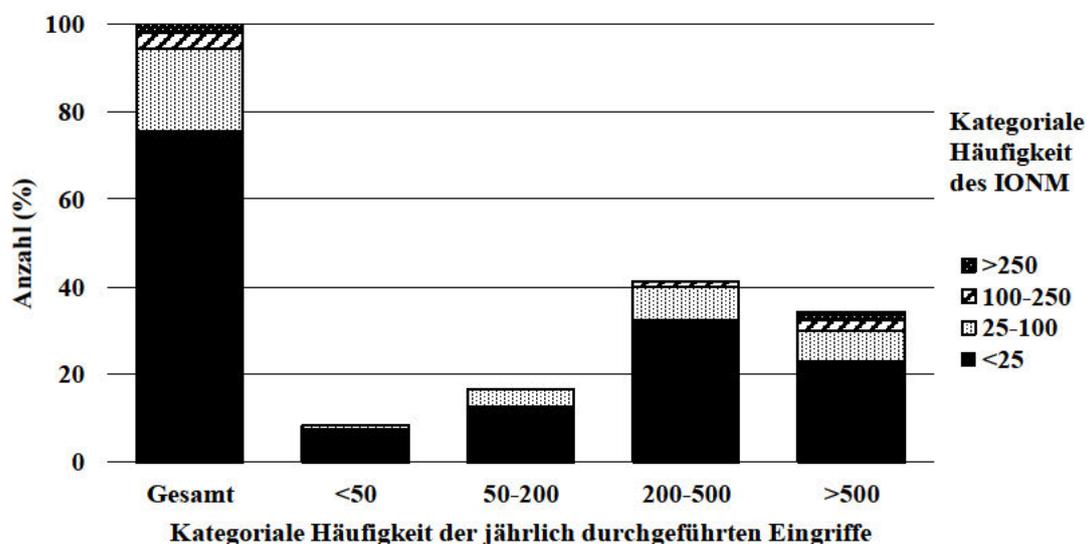
4.4.1 Kategorie „Degeneration“

Auch eine konkrete Kategorisierung der jährlich durchgeführten Operationen wurde in unserer Studie quantitativ eruiert.

34,2% des teilnehmenden Gesamtkollektivs führten jährlich mehr als 500 spinale Eingriffe der Rubrik „Degeneration“ durch. 41,1% benannten eine Anzahl von 200-500, 16,5% von 50-200 und 8,2% von weniger als 50 Operationen.

Die Anwendung des IONM kam zu 75,3% bei weniger als 25 Eingriffen zum Tragen.

Abb. 13: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „Degeneration“ in Bezug auf das Gesamtkollektiv



80,7% der neurochirurgischen und 51,7% der orthopädischen, unfallchirurgischen Abteilungen führten jährlich über 200 Eingriffe der Kategorie „Degeneration“ durch.

Das IONM wurde bei entsprechenden Operationen in neurochirurgischen und orthopädischen, unfallchirurgischen Wirbelsäulenzentren von 72,9% und 86,2 % in weniger als 50 Fällen pro Jahr hinzugezogen.

Abb. 14: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „Degeneration“ in der Neurochirurgie

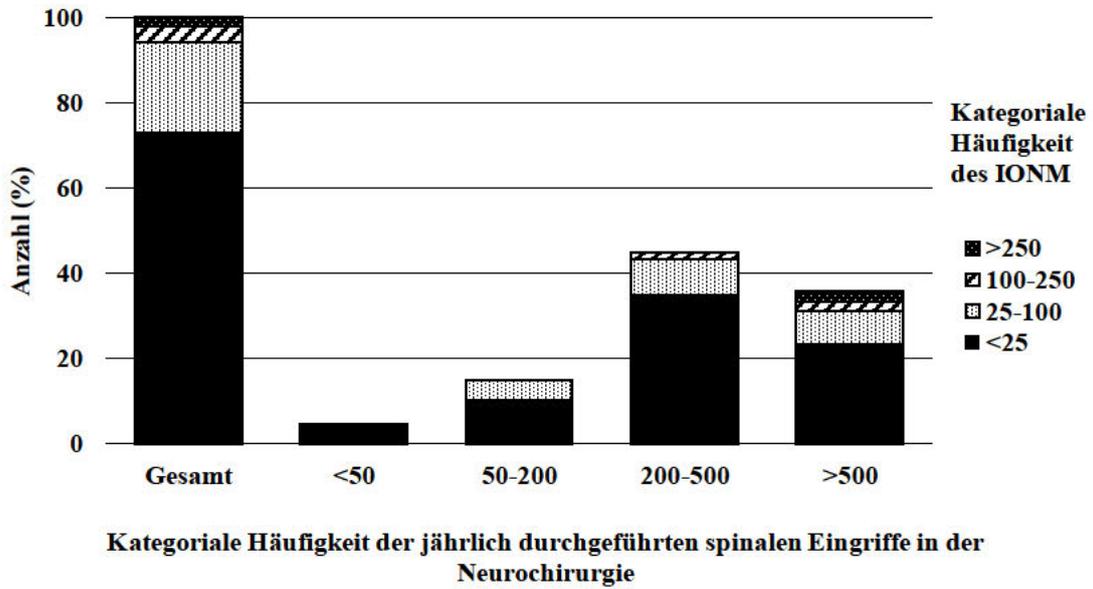
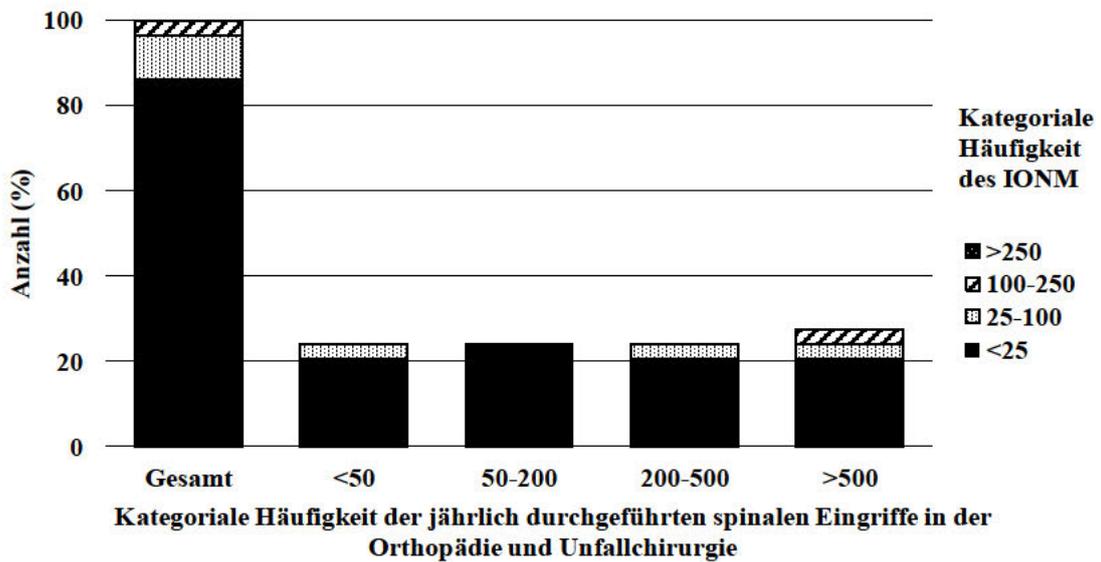


Abb. 15: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „Degeneration“ in der Orthopädie und Unfallchirurgie



Tab. 7: Jährliche Fallzahlen spinaler Operationen der Kategorie „Degeneration“ und die quantitative IONM-Anwendung

Kategoriale Häufigkeit:		<50 N (%)	50-200 N (%)	200-500 N (%)	>500 N (%)	Sign. (p)
Anzahl aller Operationen:		13/158 (8,2)	26/158 (16,5)	65/158 (41,1)	54/158 (34,2)	
Land:	D:	10/129 (7,8)	21/129 (16,3)	57/129 (44,2)	41/129 (31,8)	0,319 vs. A
	A:	2/12 (16,7)	1/12 (8,3)	3/12 (25,0)	6/12 (50,0)	0,592 vs. CH
	CH:	1/17 (5,9)	4/17 (23,5)	5/17 (29,4)	7/17 (41,2)	0,636 vs. D
Lage:	Stadt:	5/98 (5,1)	14/98 (14,3)	43/98 (43,9)	36/98 (36,7)	0,190 <i>gesamt</i>
	Land:	8/60 (13,3)	12/60 (20,0)	22/60 (36,7)	18/60 (30,0)	
Fach-abteilungen:	NC:	6/129 (4,7)	19/129 (14,7)	58/129 (45,0)	46/129 (35,7)	0,002 <i>gesamt</i>
	ORUC:	7/29 (24,1)	7/29 (24,1)	7/29 (24,1)	8/29 (27,6)	
Versorgungsstufen:	GV:	9/62 (14,5)	9/62 (14,5)	20/62 (32,3)	24/62 (38,7)	0,085 vs. ZV
	ZV:	2/41 (4,9)	5/41 (12,2)	23/41 (56,1)	11/41 (26,8)	0,382 vs. MV
	MV:	2/55 (3,6)	12/55 (21,8)	22/55 (40,0)	19/55 (34,5)	0,160 vs. GV

Kategoriale Häufigkeit:		<25 N (%)	25-100 N (%)	100-250 N (%)	>250 N (%)	Sign. (p)
Anzahl aller Operationen unter IONM:		119/158 (75,3)	30/158 (19,0)	6/158 (3,8)	3/158 (1,9)	
Land:	D:	100/129 (77,5)	21/129 (16,3)	6/129 (4,7)	2/129 (1,6)	0,334 vs. A
	A:	12/12 (100,0)	0/12 (0,0)	0/12 (0,0)	0/12 (0,0)	0,005 vs. CH
	CH:	7/17 (41,2)	9/17 (52,9)	0/17 (0,0)	1/17 (5,9)	0,002 vs. D
Lage:	Stadt:	73/98 (74,5)	19/98 (19,4)	5/98 (5,1)	1/98 (1,0)	0,522 <i>gesamt</i>
	Land:	46/60 (76,7)	11/60 (18,3)	1/60 (1,7)	2/60 (3,3)	
Fach-abteilungen:	NC:	94/129 (72,9)	27/129 (20,9)	5/129 (3,9)	3/129 (2,3)	0,450 <i>gesamt</i>
	ORUC:	25/29 (86,2)	3/29 (10,3)	1/29 (3,4)	0/29 (0,0)	
Versorgungsstufen:	GV:	47/62 (75,8)	12/62 (19,4)	1/62 (1,6)	2/62 (3,2)	0,671 vs. ZV
	ZV:	33/41 (80,5)	7/41 (17,1)	1/41 (2,4)	0/41 (0,0)	0,533 vs. MV
	MV:	39/55 (70,9)	11/55 (20,0)	4/55 (7,3)	1/55 (1,8)	0,473 vs. GV

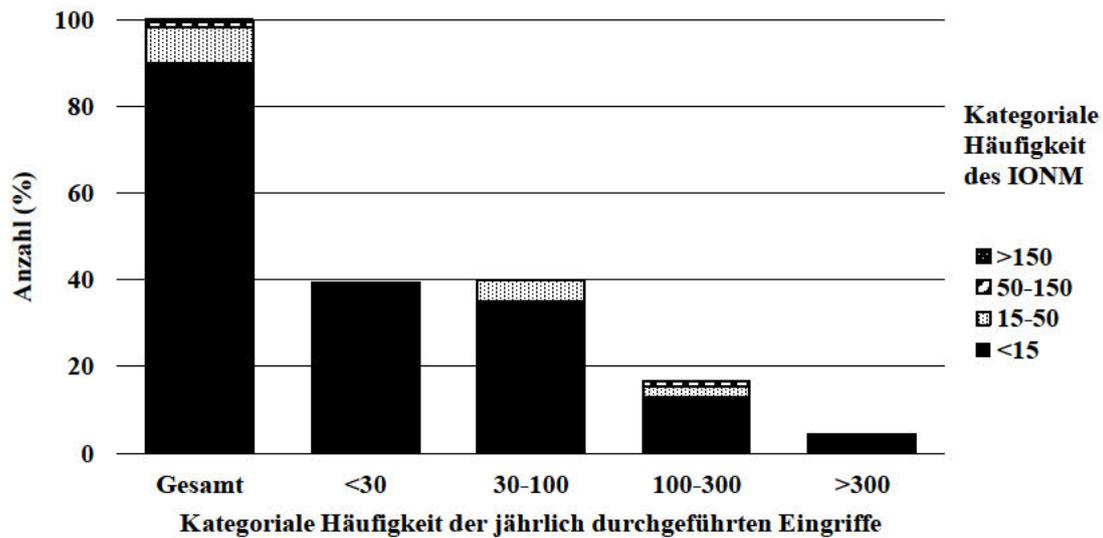
Anmerkung: D=Deutschland, A=Österreich, CH=Schweiz, NC=Neurochirurgie, ORUC= Orthopädie und Unfallchirurgie, GV=Grund-, ZV=Zentral-, MV=Maximalversorgung

4.4.2 Kategorie „Trauma“

In der Rubrik „Trauma“ nannten 20,9% der Befragten eine jährliche Fallzahl von mehr als 100 Eingriffen, 39,9% zwischen 30 und 100, und 39,2% weniger als 30 Operationen pro Jahr.

98,1% der Teilnehmer verwendeten das IONM bei weniger als 50 Eingriffen pro Jahr.

Abb. 16: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „Trauma“ in Bezug auf das Gesamtkollektiv



19,4% der neurochirurgischen Teilnehmer führten jährlich mehr als 100 Operationen der Kategorie „Trauma“ durch und verwendeten zu 97,7% das IONM bei weniger als 50 Eingriffen. Die orthopädischen, unfallchirurgischen Zentren nannten zu 27,6% eine Fallzahl von über 100 Eingriffen und zu 100% eine IONM-Nutzung bei weniger als 50 Operationen pro Jahr.

Abb. 17: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „Trauma“ in der Neurochirurgie

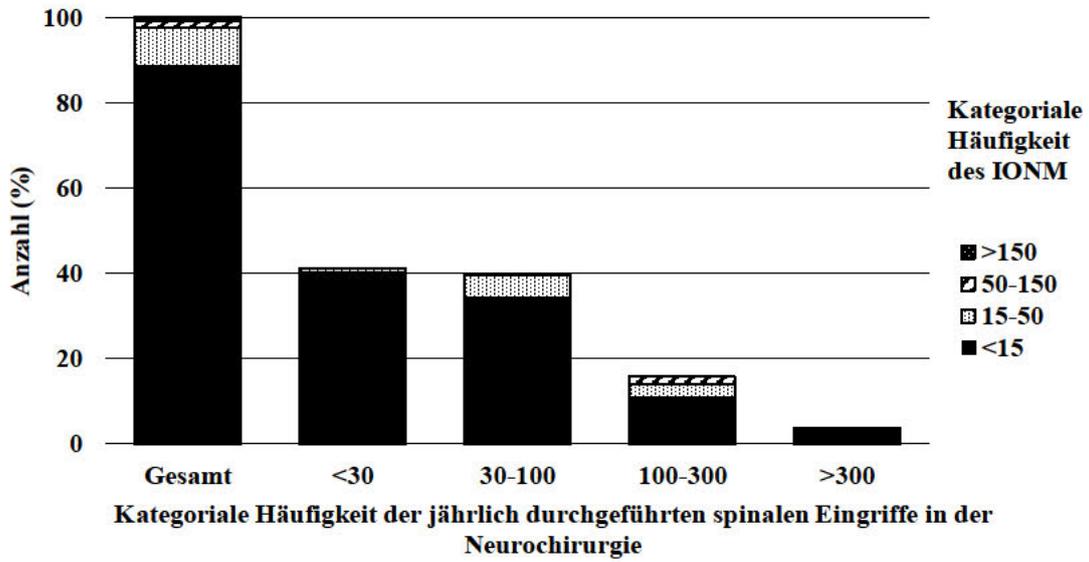
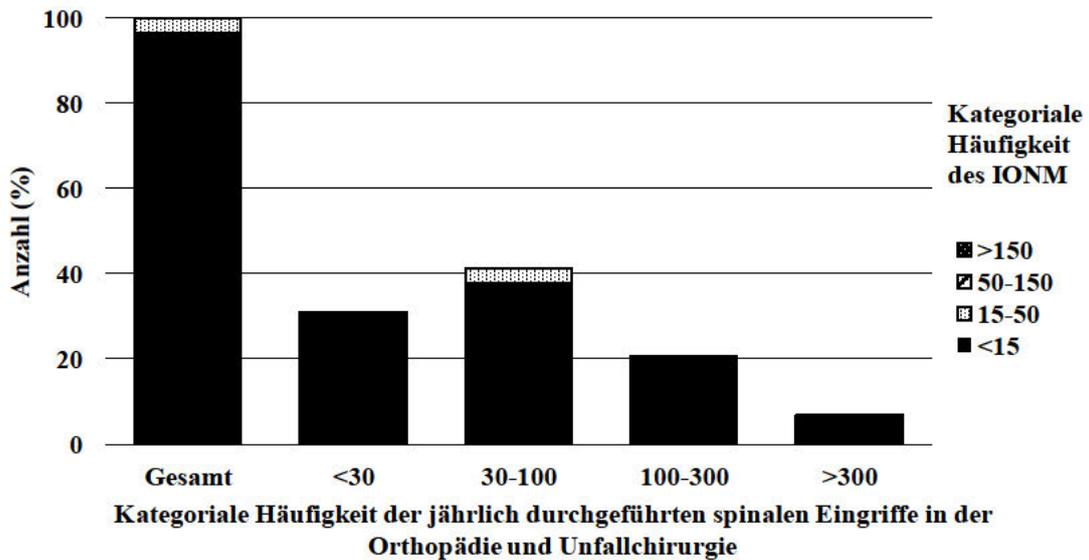


Abb. 18: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „Trauma“ in der Orthopädie und Unfallchirurgie



Tab. 8: Jährliche Fallzahlen spinaler Operationen der Kategorie „Trauma“ und die quantitative IONM-Anwendung

Kategoriale Häufigkeit:		<30 N (%)	30-100 N (%)	100-300 N (%)	>300 N (%)	Sign. (p)
Anzahl aller Operationen:		62/158 (39,2)	63/158 (39,9)	26/158 (16,5)	7/158 (4,4)	
Land:	D:	44/129 (34,1)	54/129 (41,9)	25/129 (19,4)	6/129 (4,7)	0,036 vs. A
	A:	9/12 (75,0)	3/12 (25,0)	0/12 (0,0)	0/12 (0,0)	0,531 vs. CH
	CH:	9/17 (52,9)	6/17 (35,3)	1/17 (5,9)	1/17 (5,9)	0,360 vs. D
Lage:	Stadt:	39/98 (39,8)	42/98 (42,9)	15/98 (15,3)	2/98 (2,0)	0,248 <i>gesamt</i>
	Land:	23/60 (38,3)	21/60 (35,0)	11/60 (18,3)	5/60 (8,3)	
Fach- abteilungen:	NC:	53/129 (41,1)	51/129 (39,5)	20/129 (15,5)	5/129 (3,9)	0,681 <i>gesamt</i>
	ORUC:	9/29 (31,0)	12/29 (41,4)	6/29 (20,7)	2/29 (6,9)	
Versorgungs- stufen:	GV:	24/62 (38,7)	22/62 (35,5)	11/62 (17,7)	5/62 (8,1)	0,449 vs. ZV
	ZV:	15/41 (36,6)	19/41 (46,3)	7/41 (17,1)	0/41 (0,0)	0,400 vs. MV
	MV:	23/55 (41,8)	22/55 (40,0)	8/55 (14,5)	2/55 (3,6)	0,609 vs. GV

Kategoriale Häufigkeit:		<15 N (%)	15-50 N (%)	50-150 N (%)	>150 N (%)	Sign. (p)
Anzahl aller Operationen unter IONM:		142/158 (89,9)	13/158 (8,2)	2/158 (1,3)	1/158 (0,6)	
Land:	D:	114/129 (88,4)	12/129 (9,3)	2/129 (1,6)	1/129 (0,8)	0,959 vs. A
	A:	11/12 (91,7)	1/12 (8,3)	0/12 (0,0)	0/12 (0,0)	0,226 vs. CH
	CH:	17/17 (100,0)	0/17 (0,0)	0/17 (0,0)	0/17 (0,0)	0,531 vs. D
Lage:	Stadt:	86/98 (87,8)	10/98 (10,2)	2/98 (2,0)	0/98 (0,0)	0,239 <i>gesamt</i>
	Land:	56/60 (93,3)	3/60 (5,0)	0/60 (0,0)	1/60 (1,7)	
Fach- abteilungen:	NC:	114/129 (88,4)	12/129 (9,3)	2/129 (1,6)	1/129 (0,8)	0,607 <i>gesamt</i>
	ORUC:	28/29 (96,6)	1/29 (3,4)	0/29 (0,0)	0/29 (0,0)	
Versorgungs- stufen:	GV:	56/62 (90,3)	5/62 (8,1)	0/62 (0,0)	1/62 (1,6)	0,579 vs. ZV
	ZV:	39/41 (95,1)	2/41 (4,9)	0/41 (0,0)	0/41 (0,0)	0,251 vs. MV
	MV:	47/55 (85,5)	6/55 (10,9)	2/55 (3,6)	0/55 (0,0)	0,325 vs. GV

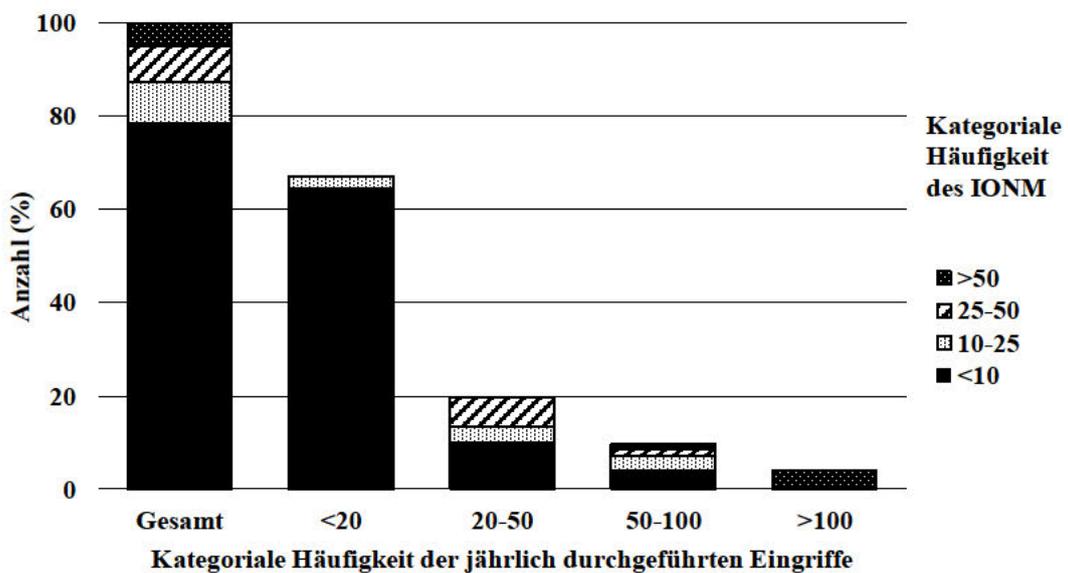
Anmerkung: D=Deutschland, A=Österreich, CH=Schweiz, NC=Neurochirurgie, ORUC= Orthopädie und Unfallchirurgie, GV=Grund-, ZV=Zentral-, MV=Maximalversorgung

4.4.3 Kategorie „skoliotische Veränderung“

Bei den operativen Korrekturen skoliotischer Veränderungen gaben 13,3% der Teilnehmer an, mehr als 50 Operationen pro Jahr durchzuführen. 19,6% nannten eine Anzahl von 20-50 und 67,1% weniger als 20 Eingriffe.

Der Einsatz des IONM wurde von 5,1% in über 50, von 7,6% in 25-50 und von 87,3% der Teilnehmer in weniger als 25 Fällen verwendet, was eine ähnliche Verteilungstendenz hinsichtlich der jährlichen Operationszahlen aufwies.

Abb. 19: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „skoliotische Veränderungen“ in Bezug auf das Gesamtkollektiv



89,9% der neurochirurgischen Wirbelsäulenzentren und 72,4% der orthopädischen, unfallchirurgischen Kliniken gaben an jährlich weniger als 50 Skoliosekorrekturen durchzuführen. Die beiden Fachrichtungen verwendeten IONM zu 96,8% und zu 58,6% bei weniger als 25 Eingriffen pro Jahr.

Abb. 20: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „skoliotische Veränderungen“ in der Neurochirurgie

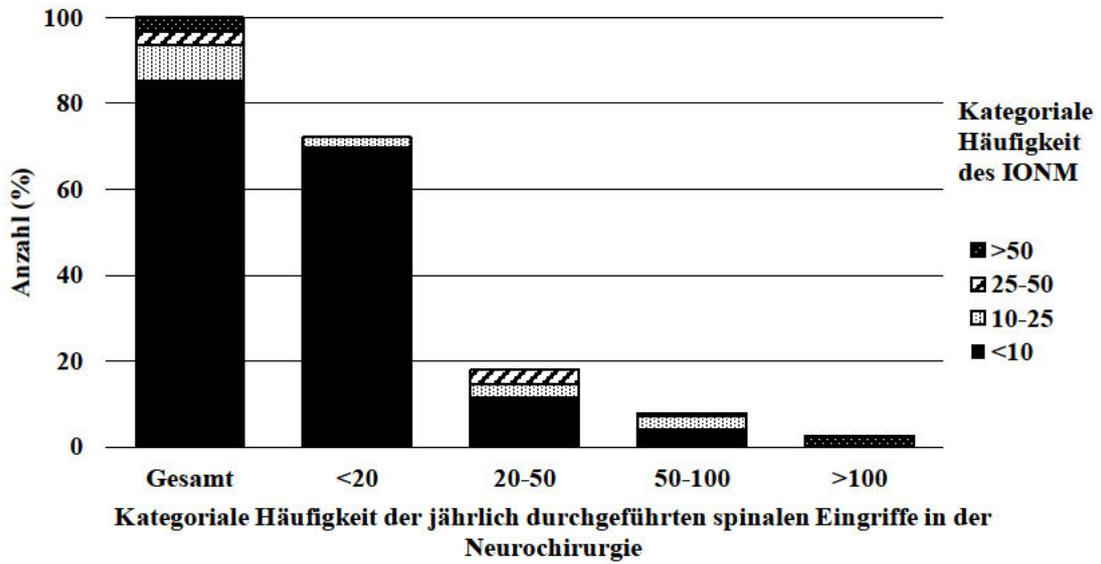
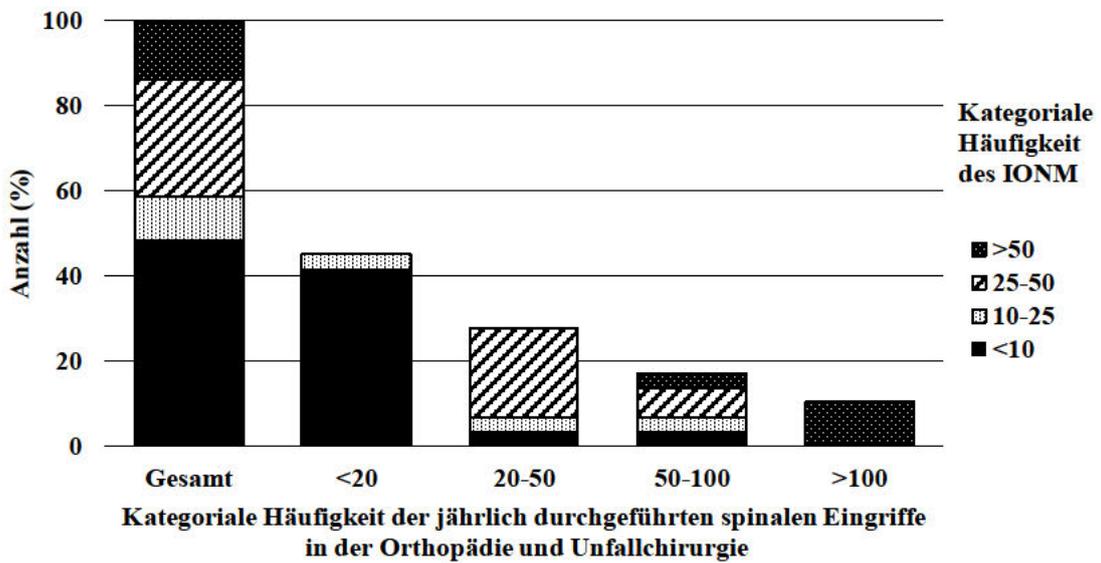


Abb. 21: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „skoliotische Veränderungen“ in der Orthopädie und Unfallchirurgie



Tab. 9: Jährliche Fallzahlen spinaler Operationen der Kategorie „skoliotische Veränderungen“ und die quantitative IONM-Anwendung

Kategoriale Häufigkeit:		<20 N (%)	20-50 N (%)	50-100 N (%)	>100 N (%)	Sign. (p)
Anzahl aller Operationen:		106/158 (67,1)	31/158 (19,6)	15/158 (9,5)	6/158 (3,8)	
Land:	D:	93/129 (72,1)	20/129 (15,5)	11/129 (8,5)	5/129 (3,9)	0,254 vs. A
	A:	6/12 (50,0)	4/12 (33,3)	2/12 (16,7)	0/12 (0,0)	0,786 vs. CH
	CH:	7/17 (41,2)	7/17 (41,2)	2/17 (11,8)	1/17 (5,9)	0,051 vs. D
Lage:	Stadt:	64/98 (65,3)	23/98 (23,5)	9/98 (9,2)	2/98 (2,0)	0,241 <i>gesamt</i>
	Land:	42/60 (70,0)	8/60 (13,3)	6/60 (10,0)	4/60 (6,7)	
Fach- abteilungen:	NC:	93/129 (72,1)	23/129 (17,8)	10/129 (7,8)	3/129 (2,3)	0,018 <i>gesamt</i>
	ORUC:	13/29 (44,8)	8/29 (27,6)	5/29 (17,2)	3/29 (10,3)	
Versorgungs- stufen:	GV:	40/62 (64,5)	9/62 (14,5)	8/62 (12,9)	5/62 (8,1)	0,060 vs. ZV
	ZV:	32/41 (78,0)	8/41 (19,5)	1/41 (2,4)	0/41 (0,0)	0,229 vs. MV
	MV:	34/55 (61,8)	14/55 (25,5)	6/55 (10,9)	1/55 (1,8)	0,249 vs. GV

Kategoriale Häufigkeit:		<10 N (%)	10-25 N (%)	25-50 N (%)	>50 N (%)	Sign. (p)
Anzahl aller Operationen: unter IONM:		124/158 (78,5)	14/158 (8,9)	12/158 (7,6)	8/158 (5,1)	
Land:	D:	107/129 (82,9)	10/129 (7,8)	6/129 (4,7)	6/129 (4,7)	0,033 vs. A
	A:	8/12 (66,7)	0/12 (0,0)	3/12 (25,0)	1/12 (8,3)	0,348 vs. CH
	CH:	9/17 (52,9)	4/17 (23,5)	3/17 (17,6)	1/17 (5,9)	0,021 vs. D
Lage:	Stadt:	77/98 (78,6)	9/98 (9,2)	10/98 (10,2)	2/98 (2,0)	0,072 <i>gesamt</i>
	Land:	47/60 (78,3)	5/60 (8,3)	2/60 (3,3)	6/60 (10,0)	
Fach- abteilungen:	NC:	110/129 (85,3)	11/129 (8,5)	4/129 (3,1)	4/129 (3,1)	<0,001 <i>gesamt</i>
	ORUC:	14/29 (48,3)	3/29 (10,3)	8/29 (27,6)	4/29 (13,8)	
Versorgungs- stufen:	GV:	46/62 (74,2)	7/62 (11,3)	3/62 (4,8)	6/62 (9,7)	0,303 vs. ZV
	ZV:	36/41 (87,8)	2/41 (4,9)	2/41 (4,9)	1/41 (2,4)	0,469 vs. MV
	MV:	42/55 (76,4)	5/55 (9,1)	7/55 (12,7)	1/55 (1,8)	0,152 vs. GV

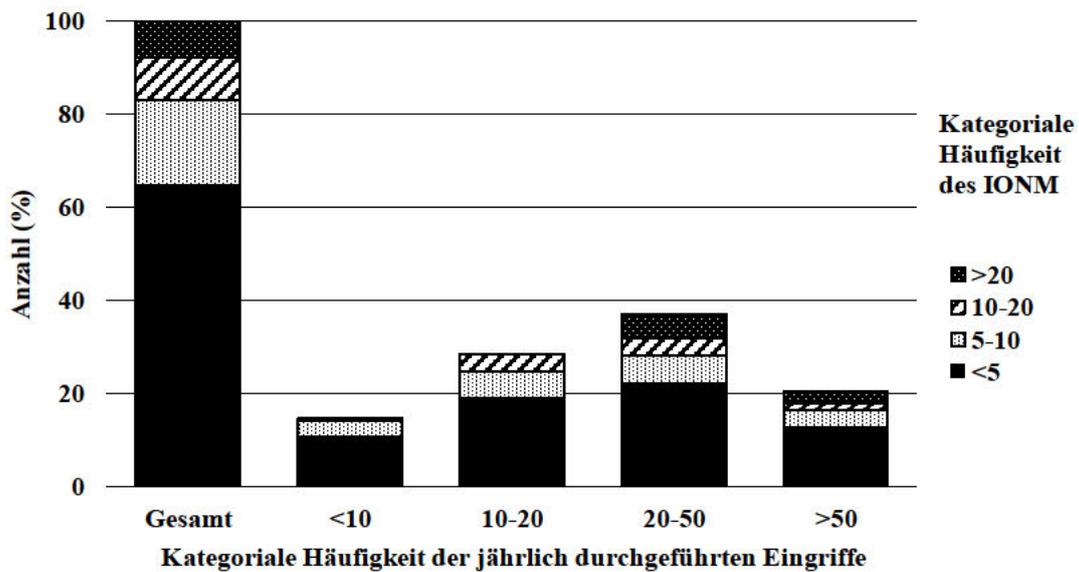
Anmerkung: D=Deutschland, A=Österreich, CH=Schweiz, NC=Neurochirurgie, ORUC= Orthopädie und Unfallchirurgie, GV=Grund-, ZV=Zentral-, MV=Maximalversorgung

4.4.4 Kategorie „Raumforderung“

Hinsichtlich der ossär-extraduralen Raumforderungen führten 20,3% der Teilnehmer jährlich mehr als 50, 36,7% zwischen 20 und 50 und 43,0% weniger als 20 Eingriffe pro Jahr durch.

91,9% der Abteilungen verwendeten hierbei das IONM bei weniger als 20 Eingriffen pro Jahr.

Abb. 22: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „ossär-extradurale Raumforderungen“ in Bezug auf das Gesamtkollektiv



20,9% der neurochirurgischen Kliniken nannten eine jährliche Operationszahl von über 50, 37,2% von 20-50, 31,0% von 10-20 und 10,9% von weniger als 10 Eingriffen. In der Orthopädie und Unfallchirurgie verteilten sich die Zahlen entsprechend auf 17,2%, 34,5%, 17,2% und 31,0%.

Das IONM wurde in der Neurochirurgie zu 79,1% und in der Orthopädie und Unfallchirurgie zu 100% bei weniger als 10 Operationen der Kategorie „Extradurale Raumforderungen“ pro Jahr hinzugezogen.

Abb. 23: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „ossär-extradurale Raumforderungen“ in der Neurochirurgie

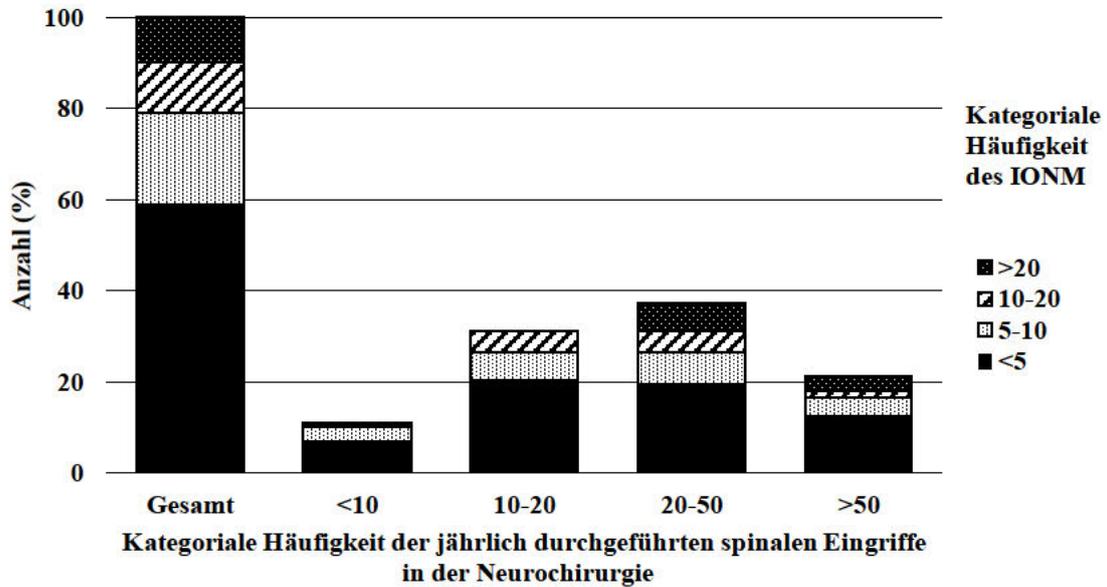
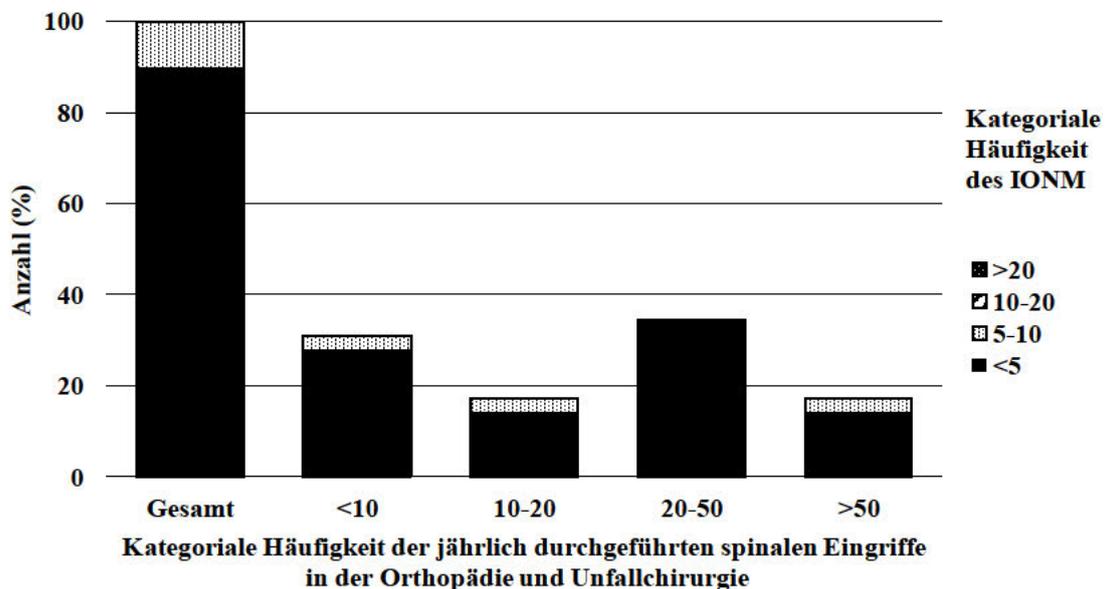


Abb. 24: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „ossär-extradurale Raumforderungen“ in der Orthopädie und Unfallchirurgie

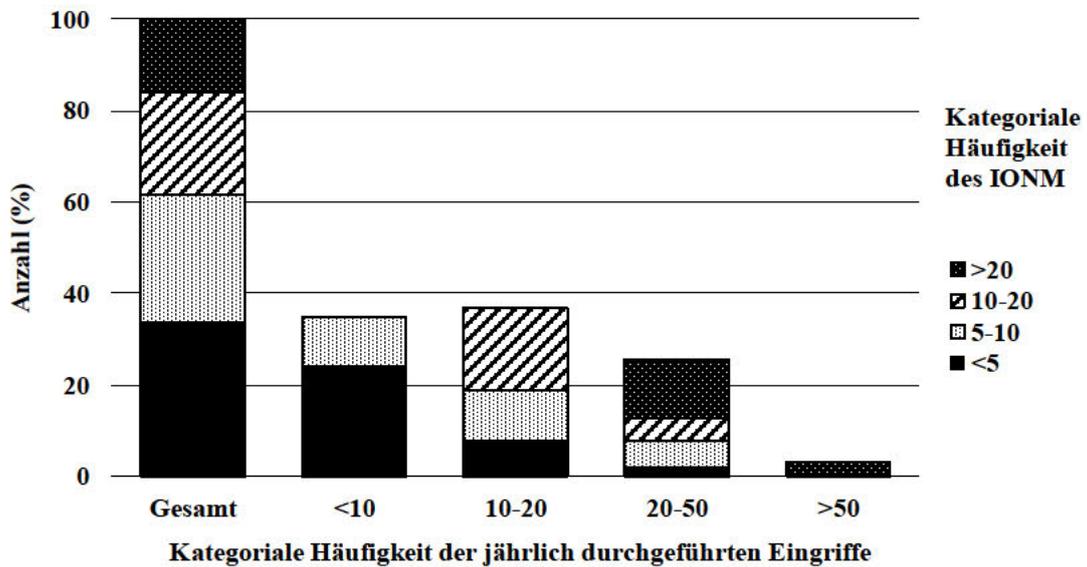


Ein ähnliches Verteilungsmuster zeigt sich auch für die Operationen intraduraler und vor allem intramedullärer Raumforderungen.

Bei den intraduralen Raumforderungen führten 28,5% des Gesamtkollektivs mehr als 20, 36,7% zwischen 10 und 20, und 34,8% weniger als 10 Eingriffe pro Jahr durch.

Das IONM wurde von 15,8% bei mehr als 20 Eingriffen hinzugezogen. 22,8% verwendeten dieses in 10-20, 27,9% in 5-10 und 33,5% in weniger als 5 Fällen pro Jahr.

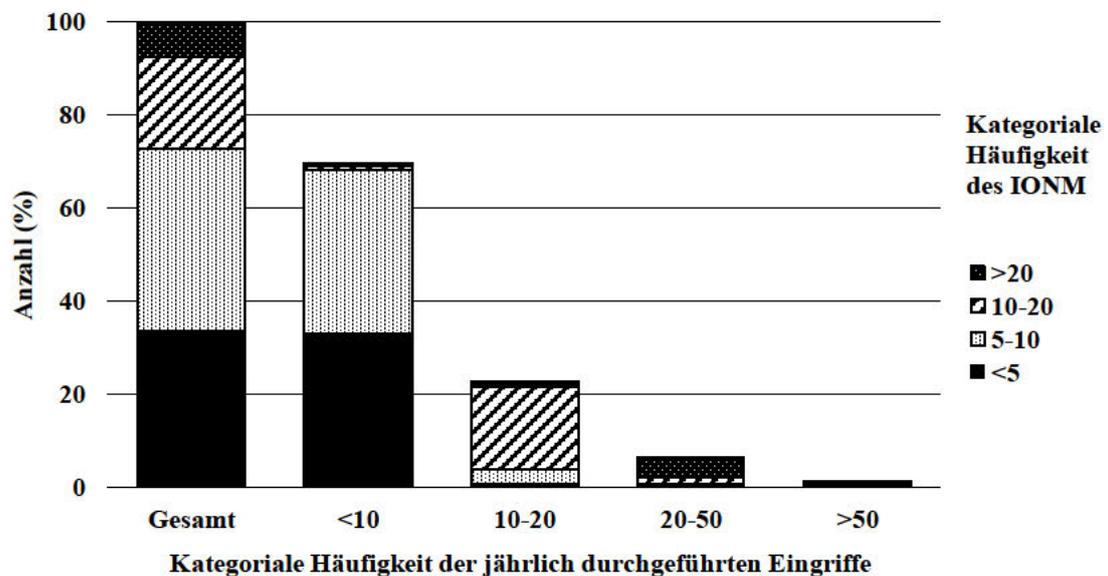
Abb. 25: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „intradurale Raumforderungen“ in Bezug auf das Gesamtkollektiv



In der Kategorie „intramedulläre Raumforderungen“ gaben 7,6% der Teilnehmer an über 20, 22,8% 10 bis 20 und 69,6% weniger als 10 Eingriffe pro Jahr durchzuführen.

Die IONM-Anwendung erfolgte zu 7,6% bei mehr als 20, zu 19,6% bei 10-20, zu 39,2% bei 5-10 und zu 33,5% bei weniger als 5 Operationen.

Abb. 26: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „intramedulläre Raumforderungen“ in Bezug auf das Gesamtkollektiv



Die Tabellen 10-12 zeigen die detaillierten jährlichen Fallzahlen der einzelnen Subkategorien.

Tab. 10: Jährliche Fallzahlen spinaler Operationen der Kategorie „ossär-extradurale Raumforderungen“ und die quantitative IONM-Anwendung

Kategoriale Häufigkeit:		<10 N (%)	10-20 N (%)	20-50 N (%)	>50 N (%)	Sign. (p)
Anzahl aller Operationen:		23/158 (14,6)	45/158 (28,5)	58/158 (36,7)	32/158 (20,3)	
Land:	D:	14/129 (10,9)	37/129 (28,7)	50/129 (38,8)	28/129 (21,7)	0,002 vs. A
	A:	6/12 (50,0)	1/12 (8,3)	2/12 (16,7)	3/12 (25,0)	0,049 vs. CH
	CH:	3/17 (17,6)	7/17 (41,2)	6/17 (35,3)	1/17 (5,9)	0,346 vs. D
Lage:	Stadt:	10/98 (10,2)	25/98 (25,5)	38/98 (38,8)	25/98 (25,5)	0,046 <i>gesamt</i>
	Land:	13/60 (21,7)	20/60 (33,3)	20/60 (33,3)	7/60 (11,7)	
Fach- abteilungen:	NC:	14/129 (10,9)	40/129 (31,0)	48/129 (37,2)	27/129 (20,9)	0,038 <i>gesamt</i>
	ORUC:	9/29 (31,0)	5/29 (17,2)	10/29 (34,5)	5/29 (17,2)	
Versorgungs- stufen:	GV:	15/62 (24,2)	23/62 (37,1)	15/62 (24,2)	9/62 (14,5)	0,074 vs. ZV
	ZV:	4/41 (9,8)	11/41 (26,8)	18/41 (43,9)	8/41 (19,5)	0,740 vs. MV
	MV:	4/55 (7,3)	11/55 (20,0)	25/55 (45,5)	15/55 (27,3)	0,003 vs. GV

Kategoriale Häufigkeit:		<5 N (%)	5-10 N (%)	10-20 N (%)	>20 N (%)	Sign. (p)
Anzahl aller Operationen unter IONM:		102/158 (64,6)	29/158 (18,4)	14/158 (8,9)	13/158 (8,2)	
Land:	D:	84/129 (65,1)	21/129 (16,3)	11/129 (8,5)	13/129 (10,1)	0,427 vs. A
	A:	10/12 (83,3)	2/12 (16,7)	0/12 (0,0)	0/12 (0,0)	0,106 vs. CH
	CH:	8/17 (47,1)	6/17 (35,3)	3/17 (17,6)	0/17 (0,0)	0,081 vs. D
Lage:	Stadt:	61/98 (62,2)	18/98 (18,4)	10/98 (10,2)	9/98 (9,2)	0,795 <i>gesamt</i>
	Land:	41/60 (68,3)	11/60 (18,3)	4/60 (6,7)	4/60 (6,7)	
Fach- abteilungen:	NC:	76/129 (58,9)	26/129 (20,2)	14/129 (10,9)	13/129 (10,1)	0,013 <i>gesamt</i>
	ORUC:	26/29 (89,7)	3/29 (10,3)	0/29 (0,0)	0/29 (0,0)	
Versorgungs- stufen:	GV:	45/62 (72,6)	11/62 (17,7)	3/62 (4,8)	3/62 (4,8)	0,402 vs. ZV
	ZV:	24/41 (58,5)	9/41 (22,0)	5/41 (12,2)	3/41 (7,3)	0,779 vs. MV
	MV:	33/55 (60,0)	9/55 (16,4)	6/55 (10,9)	7/55 (12,7)	0,236 vs. GV

Anmerkung: D=Deutschland, A=Österreich, CH=Schweiz, NC=Neurochirurgie, ORUC= Orthopädie und Unfallchirurgie, GV=Grund-, ZV=Zentral-, MV=Maximalversorgung

Tab. 11: Jährliche Fallzahlen spinaler Operationen der Kategorie „intraduraler Raumforderungen“ und die quantitative IONM-Anwendung

Kategoriale Häufigkeit:		<10 N (%)	10-20 N (%)	20-50 N (%)	>50 N (%)	Sign. (p)
Anzahl aller Operationen: 55/158 (34,8) 58/158 (36,7) 40/158 (25,3) 5/158 (3,2)						
Land:	D:	40/129 (31,0)	49/129 (38,0)	35/129 (27,1)	5/129 (3,9)	0,229 vs. A
	A:	7/12 (58,3)	2/12 (16,7)	3/12 (25,0)	0/12 (0,0)	0,325 vs. CH
	CH:	8/17 (47,1)	7/17 (41,2)	2/17 (11,8)	0/17 (0,0)	0,351 vs. D
Lage:	Stadt:	26/98 (26,5)	37/98 (37,8)	30/98 (30,6)	5/98 (5,1)	0,011 <i>gesamt</i>
	Land:	29/60 (48,3)	21/60 (35,0)	10/60 (16,7)	0/60 (0,0)	
Fach- abteilungen:	NC:	29/129 (22,5)	56/129 (43,4)	39/129 (30,2)	5/129 (3,9)	<0,001 <i>gesamt</i>
	ORUC:	26/29 (89,7)	2/29 (6,9)	1/29 (3,4)	0/29 (0,0)	
Versorgungs- stufen:	GV:	29/62 (46,8)	25/62 (40,3)	7/62 (11,3)	1/62 (1,6)	0,055 vs. ZV
	ZV:	11/41 (26,8)	18/41 (43,9)	12/41 (29,3)	0/41 (0,0)	0,144 vs. MV
	MV:	15/55 (27,3)	15/55 (27,3)	21/55 (38,2)	4/55 (7,3)	0,002 vs. GV

Kategoriale Häufigkeit:		<5 N (%)	5-10 N (%)	10-20 N (%)	>20 N (%)	Sign. (p)
Anzahl aller Operationen unter IONM: 53/158 (33,5) 44/158 (27,9) 36/158 (22,8) 25/158 (15,8)						
Land:	D:	41/129 (31,8)	38/129 (29,5)	28/129 (21,7)	22/129 (17,1)	0,795 vs. A
	A:	5/12 (41,7)	4/12 (33,3)	2/12 (16,7)	1/12 (8,3)	0,467 vs. CH
	CH:	7/17 (41,2)	2/17 (11,8)	6/17 (35,3)	2/17 (11,8)	0,312 vs. D
Lage:	Stadt:	28/98 (28,6)	26/98 (26,5)	24/98 (24,5)	20/98 (20,4)	0,121 <i>gesamt</i>
	Land:	25/60 (41,7)	18/60 (30,0)	12/60 (20,0)	5/60 (8,3)	
Fach- abteilungen:	NC:	29/129 (22,5)	39/129 (30,2)	36/129 (27,9)	25/129 (19,4)	<0,001 <i>gesamt</i>
	ORUC:	24/29 (82,8)	5/29 (17,2)	0/29 (0,0)	0/29 (0,0)	
Versorgungs- stufen:	GV:	25/62 (40,3)	23/62 (37,1)	10/62 (16,1)	4/62 (6,5)	0,339 vs. ZV
	ZV:	12/41 (29,3)	13/41 (31,7)	11/41 (26,8)	5/41 (12,2)	0,101 vs. MV
	MV:	16/55 (29,1)	8/55 (14,5)	15/55 (27,3)	16/55 (29,1)	0,001 vs. GV

Anmerkung: D=Deutschland, A=Österreich, CH=Schweiz, NC=Neurochirurgie, ORUC= Orthopädie und Unfallchirurgie, GV=Grund-, ZV=Zentral-, MV=Maximalversorgung

Tab. 12: Jährliche Fallzahlen spinaler Operationen der Kategorie „intramedullärer Raumforderungen“ und die quantitative IONM-Anwendung

Kategoriale Häufigkeit:		<10 N (%)	10-20 N (%)	20-50 N (%)	>50 N (%)	Sign. (p)
Anzahl aller Operationen:		110/158 (69,6)	36/158 (22,8)	10/158 (6,3)	2/158 (1,3)	
Land:	D:	92/129 (71,3)	25/129 (19,4)	10/129 (7,8)	2/129 (1,6)	0,534 vs. A
	A:	8/12 (66,7)	4/12 (33,3)	0/12 (0,0)	0/12 (0,0)	0,668 vs. CH
	CH:	10/17 (58,8)	7/17 (41,2)	0/17 (0,0)	0/17 (0,0)	0,160 vs. D
Lage:	Stadt:	62/98 (63,3)	26/98 (26,5)	8/98 (8,2)	2/98 (2,0)	0,128 gesamt
	Land:	48/60 (80,0)	10/60 (16,7)	2/60 (3,3)	0/60 (0,0)	
Fach- abteilungen:	NC:	83/129 (64,3)	34/129 (26,4)	10/129 (7,8)	2/129 (1,6)	0,024 gesamt
	ORUC:	27/29 (93,1)	2/29 (6,9)	0/29 (0,0)	0/29 (0,0)	
Versorgungs- stufen:	GV:	47/62 (75,8)	12/62 (19,4)	2/62 (3,2)	1/62 (1,6)	0,284 vs. ZV
	ZV:	37/41 (90,2)	3/41 (7,3)	1/41 (2,4)	0/41 (0,0)	<0,001 vs. MV
	MV:	26/55 (47,3)	21/55 (38,2)	7/55 (12,7)	1/55 (1,8)	0,012 vs. GV

Kategoriale Häufigkeit:		<5 N (%)	5-10 N (%)	10-20 N (%)	>20 N (%)	Sign. (p)
Anzahl aller Operationen unter IONM:		53/158 (33,5)	62/158 (39,2)	31/158 (19,6)	12/158 (7,6)	
Land:	D:	43/129 (33,3)	52/129 (40,3)	22/129 (17,1)	12/129 (9,3)	0,601 vs. A
	A:	5/12 (41,7)	4/12 (33,3)	3/12 (25,0)	0/12 (0,0)	0,758 vs. CH
	CH:	5/17 (29,4)	6/17 (35,3)	6/17 (35,3)	0/17 (0,0)	0,226 vs. D
Lage:	Stadt:	28/98 (28,6)	35/98 (35,7)	24/98 (24,5)	11/98 (11,2)	0,016 gesamt
	Land:	25/60 (41,7)	27/60 (45,0)	7/60 (11,7)	1/60 (1,7)	
Fach- abteilungen:	NC:	30/129 (23,3)	57/129 (44,2)	30/129 (23,3)	12/129 (9,3)	<0,001 gesamt
	ORUC:	23/29 (79,3)	5/29 (17,2)	1/29 (3,4)	0/29 (0,0)	
Versorgungs- stufen:	GV:	28/62 (45,2)	22/62 (35,5)	9/62 (14,5)	3/62 (4,8)	0,014 vs. ZV
	ZV:	9/41 (22,0)	28/41 (68,3)	3/41 (7,3)	1/41 (2,4)	<0,001 vs. MV
	MV:	16/55 (29,1)	12/55 (21,8)	19/55 (34,5)	8/55 (14,5)	0,009 vs. GV

Anmerkung: D=Deutschland, A=Österreich, CH=Schweiz, NC=Neurochirurgie, ORUC= Orthopädie und Unfallchirurgie, GV=Grund-, ZV=Zentral-, MV=Maximalversorgung

4.4.5 Unterschiede in der Subkategorienanalyse

In der Verteilung der Operationszahlen und der Anwendung des IONM ergaben sich deutliche Unterschiede im Vergleich zwischen den Fachabteilungen, den einzelnen deutschsprachigen Ländern, der städtischen und ländlichen Region und den einzelnen Versorgungsstufen.

4.4.5.1 Unterschiede zwischen den Fachbereichen

Die neurochirurgischen Wirbelsäulenzentren wiesen im Vergleich zu den orthopädischen, unfallchirurgischen Zentren insgesamt höhere Fallzahlen pro Jahr auf. Diese spiegelten sich in der Gesamtzahl der Eingriffe wider (NC vs. ORUC $p < 0,001$), wie auch in der Anzahl der Operationen spinaler Tumore (NC vs. ORUC: extradural $p = 0,038$, intradural $p < 0,001$, intramedullär $p = 0,024$) und degenerativer Wirbelsäulenveränderungen (NC vs. ORUC $p = 0,002$). In der Kategorie „skoliotische Veränderungen“ (NC vs. ORUC $p = 0,018$) und „Trauma“ (NC vs. ORUC $p = 0,681$) hingegen führten die orthopädischen, unfallchirurgischen Wirbelsäulenzentren jährlich mehr Eingriffe durch.

In den orthopädischen, unfallchirurgischen Wirbelsäulenzentren wurde das IONM häufiger für Korrekturen skoliotischer Veränderungen (NC vs. ORUC $p < 0,001$), in neurochirurgischen Kliniken hingegen für die Operationen spinaler Raumforderungen (NC vs. ORUC: extradural $p = 0,013$, intradural $p < 0,001$, intramedullär $p < 0,001$) verwendet.

4.4.5.2 Unterschiede zwischen den Ländern und der topographischen Lage

Die größte Anzahl spinaler Eingriffe führten schweizerische und deutsche Kliniken durch (D vs. A $p = 0,008$, A vs. CH $p = 0,338$, CH vs. D $p = 0,170$). In Deutschland zeigte sich dies vor allem in den Kategorien „Trauma“ (D vs. A $p = 0,036$, A vs. CH $p = 0,531$, CH vs. D $p = 0,360$) und „extradurale Raumforderung“ (D vs. A $p = 0,002$, A vs. CH $p = 0,049$, CH vs. D $p = 0,346$).

Das IONM wurde in Deutschland häufiger für Operationen der Kategorie „Degeneration“ (D vs. A $p = 0,334$, A vs. CH $p = 0,005$, CH vs. D $p = 0,002$), in Österreich hingegen für die Korrektur skoliotischer Veränderungen (D vs. A $p = 0,033$, A vs. CH $p = 0,348$, CH vs. D $p = 0,021$) eingesetzt.

Die städtischen Kliniken gaben eine höhere Fallzahl der Kategorien „extradurale Raumforderungen“ (Stadt vs. Land $p = 0,046$) und „intradurale Raumforderungen“ (Stadt

vs. Land $p=0,011$) an, setzten das IONM jedoch häufiger bei Operationen intramedullärer Raumforderungen (Stadt vs. Land $p=0,0016$) ein.

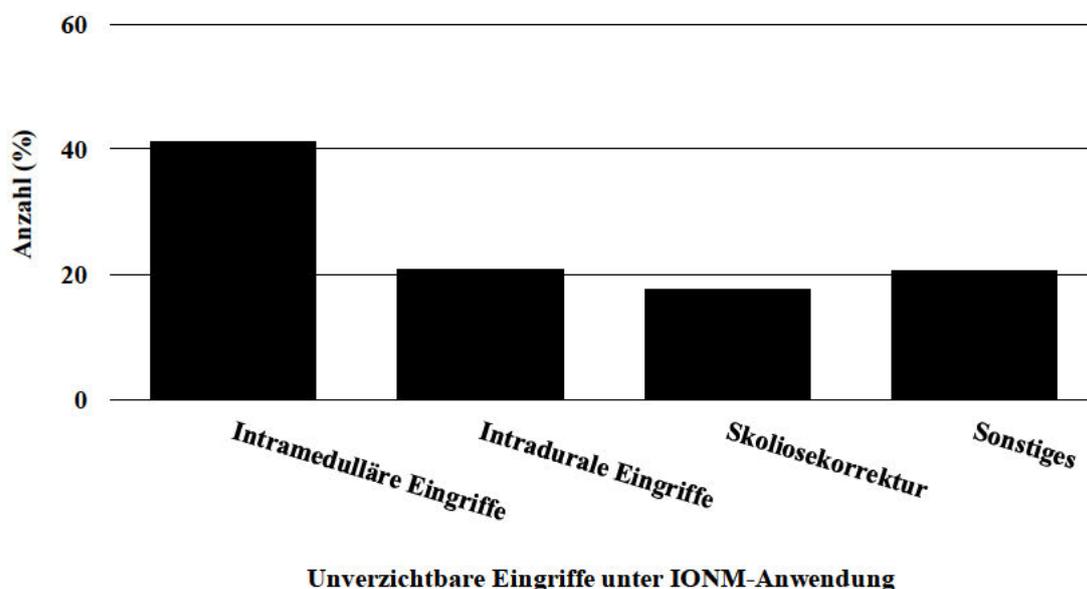
4.4.5.3 Unterschiede in den Versorgungsstufen

In den Kliniken der Maximalversorgung zeigte sich insgesamt die größte Gesamtzahl der spinalen Eingriffe (MV vs. GV $p=0,012$, MV vs. ZV $p<0,001$, ZV vs. GV $p=0,284$) sowie eine ausgeprägte IONM-Anwendung (MV vs. GV $p=0,054$, MV vs. ZV $p=0,030$, ZV vs. GV $p=0,405$). Auch Operationen spinaler Raumforderungen wurden am häufigsten in den Kliniken der Maximalversorgung durchgeführt (extradural: MV vs. GV $p=0,003$, MV vs. ZV $p=0,740$, ZV vs. GV $p=0,074$, intradural: MV vs. GV $p=0,002$, MV vs. ZV $p=0,144$, ZV vs. GV $p=0,055$, intramedullär: MV vs. GV $p=0,012$, MV vs. ZV $p<0,001$, ZV vs. GV $p=0,284$). Das IONM wurde von den Kliniken der Maximalversorgung am häufigsten bei Operationen intramedullärer (MV vs. GV $p=0,009$, MV vs. ZV $p<0,001$, ZV vs. GV $p=0,014$) und intraduraler Raumforderungen (MV vs. GV $p=0,001$, MV vs. ZV $p=0,101$, ZV vs. GV $p=0,339$) eingesetzt.

4.4.6 Unverzichtbarkeit des IONM

Die Teilnehmer erhielten in unserer Umfrage die Möglichkeit über eine Freitexteingabe jene Operationen zu nennen, für die eine Anwendung des IONM als unverzichtbar einzustufen ist. Am häufigsten wurden die intramedullären (41,2%) und intraduralen Raumforderungen (20,8%) sowie die Skoliosekorrektur (17,6%) angegeben.

Abb. 27: Unverzichtbarkeit der IONM-Anwendung



Hinsichtlich der Versorgungsstufen und der topographischen Lage stellten sich keine signifikanten Unterschiede heraus, jedoch zeigten sich diese im Vergleich der Fachrichtungen. Die neurochirurgischen Wirbelsäulenzentren stufen mit 64,6% die Anwendung des IONM bei intramedullären Eingriffen im Vergleich zu den orthopädischen, unfallchirurgischen Abteilungen (24,1%) deutlich häufiger als unverzichtbar ein (NC vs. ORUC $p < 0,001$).

Dies bestätigte sich ebenfalls in einer weiteren Frage der Kategorie Einfachauswahl, welche gezielt die Anwendung des IONM bei intramedullären Eingriffen eruierte. 82,3% aller teilnehmenden Abteilungen gab an, dieses unter allen Umständen zu verwenden. 8,2% nutzten jenes nur in speziellen Fällen und 9,5% nie.

Von den neurochirurgischen Fachabteilungen postulierten 93,8% eine stetige IONM-Anwendung für intramedulläre Raumforderungen. Die orthopädischen, unfallchirurgischen Abteilungen gaben dies in 31% der Fälle an (NC vs. ORUC $p < 0,001$). 37,9% hingegen verwendeten das IONM für entsprechende Operationen nie.

Die österreichischen Kliniken (58,3%) wiesen im Vergleich zu den deutschen (85,7%) und schweizerischen (76,5%) Krankenhäusern die geringste IONM-Anwenderrate für Operationen intramedullärer Raumforderungen auf (D vs. A $p = 0,046$, A vs. CH $p = 0,332$, CH vs. D $p = 0,0403$).

4.5 Organisation der technischen Umsetzung, Überwachung und Interpretation des IONM

4.5.1 Personalauswahl des Gesamtkollektivs

Das zuständige Personal für die technische Durchführung, die Überwachung sowie die Interpretation und Datenauswertung des IONM unterschied sich in den teilnehmenden Kliniken. Abb. 28 veranschaulicht in einer Übersicht die zugeschriebenen Verantwortlichkeiten bezüglich der unterschiedlichen Aufgabenbereiche im Einsatz des IONM.

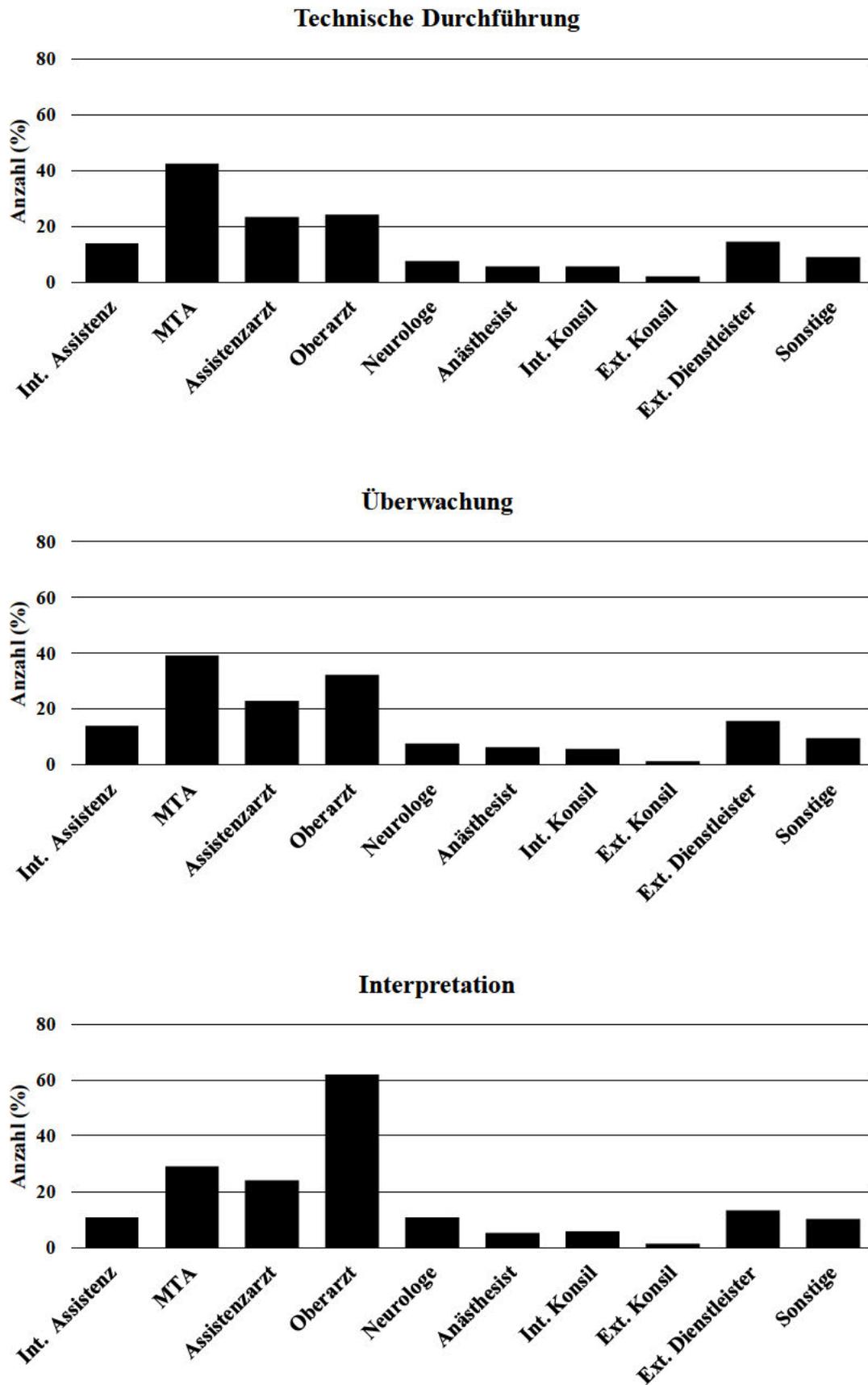
Die Verantwortung der technischen Durchführung wurde im Gesamtkollektiv am häufigsten einer speziell geschulten und ausgebildeten MTA (42,4%), dem für die Operation verantwortlichen Oberarzt (24,1%) und dem verantwortlichen Assistenzarzt (23,4%) zugeschrieben.

In Bezug auf die Zuständigkeit der intraoperativen Überwachung des IONM zeigte sich eine ähnliche Verteilung. Auch hier stellte die speziell geschulte MTA (39,2%) die

häufigste Antwort dar, gefolgt von dem verantwortlichen Oberarzt (32,3) und dem verantwortlichen Assistenzarzt (22,8%).

Für die Interpretation und Auswertung des IONM ergab sich eine abweichende Verteilung. Hier nannten die Teilnehmer vor allem den verantwortlichen Oberarzt (62,0%), gefolgt von der speziell geschulten MTA (29,1%) und dem verantwortlichen Assistenzarzt (24,1%).

Abb. 28: Verantwortliches Personal für die technische Durchführung, Überwachung und Interpretation des IONM



4.5.2 Personalauswahl in den einzelnen Subkategorien

In Hinblick auf die unterschiedlichen Fachbereiche, Länder und Versorgungsstufen ergaben sich signifikante Unterschiede. Diese zeigten sich jedoch nicht für die topographische Lage.

4.5.2.1 Fachbereiche

Die Unterschiede zwischen den Fachbereichen wurden vor allem bei der Auswahl des Personals für die Überwachung und Interpretation des IONM deutlich (Überwachung $p=0,018$, Interpretation $p=0,014$).

In den neurochirurgischen Abteilungen wurde die Überwachung häufig dem nichtärztlichen Personal, wie der MTA (41,9%), dem Oberarzt (31%) sowie dem Assistenzarzt (26,4%) zugeschrieben. Die Interpretation erfolgte zumeist durch den Oberarzt (62,8%), gefolgt von der MTA (31,0%) und dem Assistenzarzt (28,7%).

In den orthopädischen, unfallchirurgischen Wirbelsäulenzentren wurde die Überwachung des IONM vor allem dem verantwortlichen Oberarzt (37,9%) übertragen. Zudem nahmen die externen Dienstleister (31,0%) eine wichtige Rolle ein, gefolgt von der MTA (27,6%). Auch bei der Zuordnung des Personals für die technische Umsetzung des IONM zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Fachbereichen, jedoch in geringerer Ausprägung (Technische Umsetzung $p=0,044$).

In beiden Fachbereichen nahm die MTA den höchsten Stellenwert ein (45,0% neurochirurgische vs. 31,0% orthopädische/unfallchirurgische Abteilungen). Des Weiteren nannten die neurochirurgischen Zentren vor allem den verantwortlichen Assistenzarzt (27,1%) und den Oberarzt (23,3%), die orthopädischen, unfallchirurgischen Wirbelsäulenzentren hingegen gleichermaßen den Oberarzt und externen Dienstleister (je 27,6%).

Die Unterschiede zwischen den Fachbereichen zeigen sich in Tab. 13.

Tab. 13: Personalauswahl für die IONM-Anwendung im Vergleich zwischen den Fachbereichen

Verantwortliches Personal	Technische Umsetzung N (%)	Überwachung N (%)	Interpretation N (%)
Neurochirurgie:			
Int. Assistenz:	19/129 (14,7)	19/129 (14,7)	16/129 (12,4)
MTA:	58/129 (45,0)	54/129 (41,9)	40/129 (31,0)
Assistenzarzt:	35/129 (27,1)	34/129 (26,4)	37/129 (28,7)
Oberarzt:	30/129 (23,3)	40/129 (31,0)	81/129 (62,8)
Neurologe:	12/129 (9,3)	11/129 (8,5)	15/129 (11,6)
Anästhesist:	7/129 (5,4)	8/129 (6,2)	6/129 (4,7)
Int. Konsil:	6/129 (4,7)	5/129 (3,9)	5/129 (3,9)
Ext. Konsil:	2/129 (1,6)	1/129 (0,8)	1/129 (0,8)
Ext. Dienstleister:	15/129 (11,6)	16/129 (12,4)	14/129 (10,9)
Sonstige:	10/129 (7,8)	11/129 (8,5)	12/129 (9,3)
Orthopädie/Unfallchirurgie:			
Int. Assistenz:	3/29 (10,3)	3/29 (10,3)	1/29 (3,4)
MTA:	9/29 (31,0)	8/29 (27,6)	6/29 (20,7)
Assistenzarzt:	2/29 (6,9)	2/29 (6,9)	1/29 (3,4)
Oberarzt:	8/29 (27,6)	11/29 (37,9)	17/29 (58,6)
Neurologe:	0/29 (0,0)	1/29 (3,4)	2/29 (6,9)
Anästhesist:	2/29 (6,9)	2/29 (6,9)	2/29 (6,9)
Int. Konsil:	3/29 (10,3)	4/29 (13,8)	4/29 (13,8)
Ext. Konsil:	1/29 (3,4)	1/29 (3,4)	1/29 (3,4)
Ext. Dienstleister:	8/29 (27,6)	9/29 (31,0)	7/29 (24,1)
Sonstige:	4/29 (13,8)	4/29 (13,8)	4/29 (13,8)
Sign. (p):	0,044	0,018	0,014

4.5.2.2 Versorgungsstufen

Im Vergleich der Versorgungsstufen ergaben sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der Personalauswahl für die technische Umsetzung (GV vs. ZV $p=0,376$, GV vs. MV $p=0,004$, ZV vs. MV $p=0,004$), die Überwachung (GV vs. ZV $p=0,462$, GV vs. MV $p=0,006$, ZV vs. MV $p=0,007$) und die Auswertung (GV vs. ZV $p=0,370$, GV vs. MV $p=0,003$, ZV vs. MV $p=0,006$).

In allen Versorgungsstufen wurde die technische Umsetzung, Überwachung und Auswertung am häufigsten dem verantwortlichen Oberarzt, dem Assistenzarzt sowie der MTA zugeschrieben.

Besonders in den Kliniken der Maximalversorgung hat der Beruf der MTA eine große Bedeutung. Sie wurde von 63,3% für die technische Umsetzung, von 61,8% für die Überwachung und von 50,9% der Teilnehmer für die Auswertung benannt.

Tab. 14: Personalauswahl für die IONM-Anwendung im Vergleich zwischen den Versorgungsstufen

Verantwortliches Personal	Technische Umsetzung, N (%)	Überwachung, N (%)	Interpretation, N (%)
<i>Kliniken der Grundversorgung:</i>			
Int. Assistenz:	7/62 (11,3)	6/62 (9,7)	3/62 (4,8)
MTA:	20/62 (32,3)	17/62 (27,4)	11/62 (17,7)
Assistenzarzt:	16/62 (25,8)	15/62 (24,2)	14/62 (22,6)
Oberarzt:	19/62 (30,6)	22/62 (35,5)	40/62 (64,5)
Neurologe:	5/62 (8,1)	5/62 (8,1)	6/62 (9,7)
Anästhesist:	4/62 (6,5)	4/62 (6,5)	3/62 (4,8)
Int. Konsil:	1/62 (1,6)	1/62 (1,6)	1/62 (1,6)
Ext. Konsil:	3/62 (4,8)	2/62 (3,2)	2/62 (3,2)
Ext. Dienstleister:	11/62 (17,7)	12/62 (19,4)	10/62 (16,1)
Sonstige:	7/62 (11,3)	7/62 (11,3)	8/62 (12,9)
<i>Kliniken der Zentralversorgung:</i>			
Int. Assistenz:	6/41 (14,6)	6/41 (14,6)	4/41 (9,8)
MTA:	12/41 (29,3)	11/41 (26,8)	7/41 (17,1)
Assistenzarzt:	11/41 (26,8)	10/41 (24,4)	12/41 (29,3)
Oberarzt:	11/41 (26,8)	13/41 (31,7)	23/41 (56,1)
Neurologe:	3/41 (7,3)	2/41 (4,9)	5/41 (12,2)
Anästhesist:	4/41 (9,8)	5/41 (12,2)	4/41 (9,8)
Int. Konsil:	5/41 (12,2)	4/41 (9,8)	4/41 (9,8)
Ext. Konsil:	0/41 (0,0)	0/41 (0,0)	0/41 (0,0)
Ext. Dienstleister:	8/41 (19,5)	8/41 (19,5)	7/41 (17,1)
Sonstige:	1/41 (2,4)	1/41 (2,4)	1/41 (2,4)
<i>Kliniken der Maximalversorgung:</i>			
Int. Assistenz:	9/55 (16,4)	10/55 (18,2)	10/55 (18,2)
MTA:	35/55 (63,6)	34/55 (61,8)	28/55 (50,9)
Assistenzarzt:	10/55 (18,2)	11/55 (20,0)	12/55 (21,8)
Oberarzt:	8/55 (14,5)	16/55 (29,1)	35/55 (63,6)
Neurologe:	4/55 (7,3)	5/55 (9,1)	6/55 (10,9)
Anästhesist:	1/55 (1,8)	1/55 (1,8)	1/55 (1,8)
Int. Konsil:	3/55 (5,5)	4/55 (7,3)	4/55 (7,3)
Ext. Konsil:	0/55 (0,0)	0/55 (0,0)	0/55 (0,0)
Ext. Dienstleister:	4/55 (7,3)	5/55 (9,1)	4/55 (7,3)
Sonstige:	6/55 (10,9)	7/55 (12,7)	7/55 (12,7)
<i>Sign. (p):</i>			
<i>GV vs. ZV:</i>	0,376	0,462	0,370
<i>GV vs. MV:</i>	0,004	0,006	0,003
<i>ZV vs. MV:</i>	0,004	0,007	0,006

Anmerkung: GV=Grund-, ZV=Zentral-, MV=Maximalversorgung

4.5.2.3 Länder

Vor allem in Deutschland wurde der MTA für die Anwendung des IONM eine große Verantwortung übertragen. Sie wurde bei der technischen Umsetzung (45,7%) und der Überwachung (41,9%) am häufigsten von den Teilnehmern angegeben, gefolgt von dem zuständigen Assistenzarzt und Oberarzt.

In Österreich gaben die Teilnehmer den Oberarzt für alle Aspekte der IONM-Anwendung am häufigsten an. Er wurde zu 50% für die technische Anwendung, zu 66,7% für die Überwachung und zu 75,0% für die Auswertung benannt. Analog zu den deutschen Abteilungen wurden auch in Österreich MTA und Assistenzärzte häufig von den Abteilungen angegeben.

In der Schweiz zeigte sich eine abweichende Verteilung. Hier wurde die Verantwortlichkeit des IONM neben der MTA und dem Oberarzt vor allem dem neurologischen Facharzt sowie externen Dienstleistern übertragen.

Entsprechend zeigten sich bei der bei der technischen Umsetzung (D vs. A $p=0,209$, D vs. CH $p<0,001$, A vs. CH $p=0,115$), der Überwachung (D vs. A $p=0,193$, D vs. CH $p<0,001$, A vs. CH $p=0,020$) und der Interpretation (D vs. A $p=0,894$, D vs. CH $p<0,001$, A vs. CH $p=0,032$) Unterschiede zwischen den Ländern.

Die detaillierte Auflistung der Personalzuständigkeit zeigt sich in Tab. 15.

Tab. 15: Personalausstattung für die IONM-Anwendung im Ländervergleich

Verantwortliches Personal	Techn. Umsetzung N (%)	Überwachung N (%)	Interpretation N (%)
Deutschland:			
Int. Assistenz:	19/129 (14,7)	19/129 (14,7)	16/129 (12,4)
MTA:	59/129 (45,7)	54/129 (41,9)	40/129 (31,0)
Assistenzarzt:	35/129 (27,1)	33/129 (25,6)	35/129 (27,1)
Oberarzt:	28/129 (21,7)	39/129 (30,2)	83/129 (64,3)
Neurologe:	5/129 (3,9)	5/129 (3,9)	8/129 (6,2)
Anästhesist:	7/129 (5,4)	8/129 (6,2)	6/129 (4,7)
Int. Konsil:	4/129 (3,1)	4/129 (3,1)	4/129 (3,1)
Ext. Konsil:	2/129 (1,6)	2/129 (1,6)	2/129 (1,6)
Ext. Dienstleister:	17/129 (13,2)	19/129 (14,7)	15/129 (11,6)
Sonstige:	12/129 (9,3)	12/129 (9,3)	13/129 (10,1)
Österreich:			
Int. Assistenz:	0/12 (0,0)	0/12 (0,0)	0/12 (0,0)
MTA:	2/12 (16,7)	2/12 (16,7)	2/12 (16,7)
Assistenzarzt:	2/12 (16,7)	3/12 (25,0)	3/12 (25,0)
Oberarzt:	6/12 (50,0)	8/12 (66,7)	9/12 (75,0)
Neurologe:	1/12 (8,3)	1/12 (8,3)	1/12 (8,3)
Anästhesist:	1/12 (8,3)	1/12 (8,3)	1/12 (8,3)
Int. Konsil:	1/12 (8,3)	1/12 (8,3)	1/12 (8,3)
Ext. Konsil:	0/12 (0,0)	0/12 (0,0)	0/12 (0,0)
Ext. Dienstleister:	1/12 (8,3)	1/12 (8,3)	1/12 (8,3)
Sonstige:	1/12 (8,3)	1/12 (8,3)	1/12 (8,3)
Schweiz:			
Int. Assistenz:	3/17 (17,6)	3/17 (17,6)	1/17 (5,9)
MTA:	6/17 (35,3)	6/17 (35,3)	4/17 (23,5)
Assistenzarzt:	0/17 (0,0)	0/17 (0,0)	0/17 (0,0)
Oberarzt:	4/17 (23,5)	4/17 (23,5)	6/17 (35,3)
Neurologe:	6/17 (35,3)	6/17 (35,3)	8/17 (47,1)
Anästhesist:	1/17 (5,9)	1/17 (5,9)	1/17 (5,9)
Int. Konsil:	4/17 (23,5)	4/17 (23,5)	4/17 (23,5)
Ext. Konsil:	1/17 (5,9)	0/17 (0,0)	0/17 (0,0)
Ext. Dienstleister:	5/17 (29,4)	5/17 (29,4)	5/17 (29,4)
Sonstige:	1/17 (5,9)	2/17 (11,8)	2/17 (11,8)
Sign. (p):			
D vs. A:	0,209	0,193	0,894
D vs. CH:	<0,001	<0,001	<0,001
A vs. CH:	0,115	0,020	0,032

Anmerkung: D=Deutschland, A=Österreich, CH=Schweiz

4.5.3 Schulung des verantwortlichen Personals

Die IONM-Schulung des verantwortlichen Personals erfolgte in den meisten Krankenhäusern durch externe Kurse (60,8% der Teilnehmer) der NCAFW (32,3%), DGKN (19,6%) und DGAI (8,9%). 17,1% der Kliniken sendete ihr Personal zu Kursen von Geräteherstellern. Für 24,7% der Teilnehmer erwiesen sich die Schulungen als irrelevant, da für entsprechende IONM-basierte Operationen externe Mitarbeiter hinzugezogen wurden.

4.6 Zufriedenheit mit dem heutigen Stand des IONM

Obwohl in den einzelnen Kliniken die technische Durchführung, Überwachung, Interpretation und Auswertung des IONM sehr heterogen umgesetzt wurden, ergab sich in unserer Umfrage eine große Zufriedenheit mit dem aktuellen Stand.

50,6% der Teilnehmer gaben an mit der technischen Durchführung des IONM sehr zufrieden zu sein. 37,3% bezeichnete die Qualität als „gut“ und nur 1,3% als „ungenügend“.

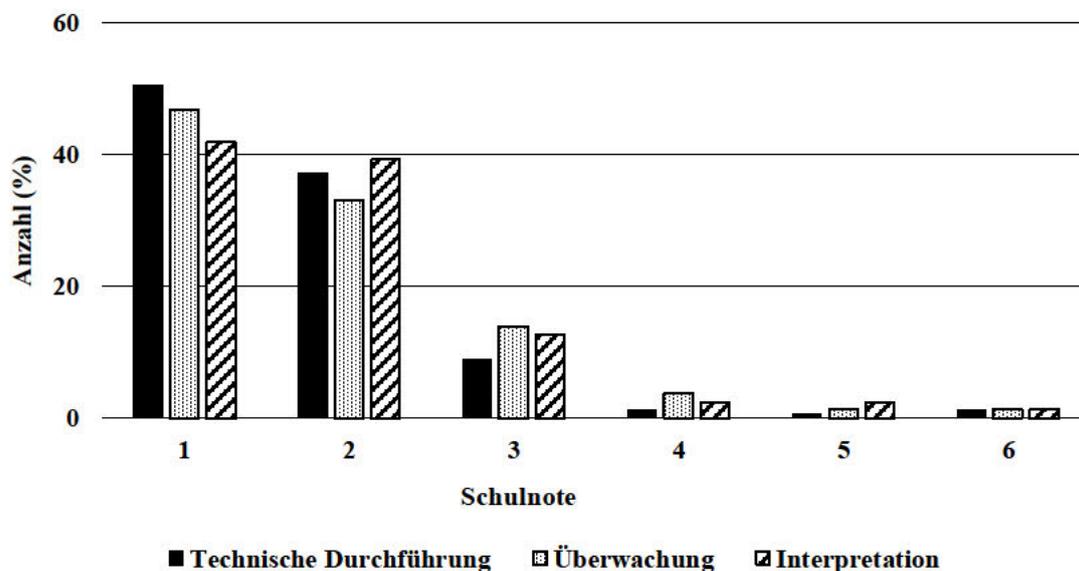
Die Überwachung des IONM wurde von 46,8% als „sehr gut“, von 32,9% als „gut“ und lediglich von 1,3% als „ungenügend“ gewertet.

Ähnliche Ergebnisse zeigten sich bei der Qualität der Auswertung und Interpretation. Hier gaben 41,8% der Teilnehmer an, dass diese „sehr gut“ sei. 39,2% bezeichneten diese als „gut“ und nur 1,3% als „ungenügend“.

Im Vergleich der Versorgungsstufen zeigten sich Unterschiede. Die Kliniken der Maximal-, Zentral- und Grundversorgung bezeichneten die Zufriedenheit mit der technischen Durchführung zu 92,8%, 92,2% und 80,6% als sehr gut bzw. gut (MV vs. GV $p=0,006$, GV vs. ZV $p=0,190$, ZV vs. MV $p=0,205$).

Die genauen Umfrageergebnisse sind in Abb. 29 dargestellt.

Abb. 29: Allgemeine Zufriedenheit mit der technischen Durchführung, Überwachung und Interpretation des IONM



Hinsichtlich der Zufriedenheit mit der aktuellen Qualität des IONM ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fachbereichen, den teilnehmenden Ländern und der topographischen Lage der Kliniken.

4.7 Vorkommen falsch-positiver und falsch-negativer Ergebnisse

Die Teilnehmer unserer Studie wurden gebeten anzugeben, ob sie je ein falsch-positives oder falsch-negatives Ereignis mit dem spinalen IONM erlebt haben, sowie dieses genauer zu schildern.

Insgesamt postulierten 32,9% der Abteilungen an, mindestens ein falsch-negatives Ergebnis erhalten zu haben. Bei der Frage nach der subjektiven Einschätzung der Häufigkeit entsprechender Vorkommnisse gaben 84,2% an, dass dies nur selten auftritt. 15,8% quantifizierten dieses als „gelegentlich“. Im Vergleich der Fachabteilungen, Länder, Versorgungsstufen und topographischen Lagen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede.

Das Vorkommen falsch-positiver Ereignisse wurde von 53,8% der Teilnehmer benannt, wobei 64,6% dieses als „selten“, 32,3% als „gelegentlich“ und nur „3,2%“ als häufig einstufen. Auch hier ergaben sich keine nennenswerten Abweichungen der Unterkategorien.

4.8 Kritikpunkte und Verbesserungsvorschläge zum aktuellen Stand des IONM

Die Teilnehmer erhielten die Möglichkeit, in der Umfrage Kritikpunkte und Verbesserungsmöglichkeiten frei zu formulieren.

Insbesondere die unzureichende monetäre Vergütung im Rahmen von DRG-wirksamen Fallpauschalen wurde von 83,5% der Abteilungen bemängelt. Dies gaben vor allem 100% der orthopädischen, unfallchirurgischen Abteilungen im Vergleich zu 79,8% der neurochirurgischen Abteilungen (NC vs. ORUC $p=0,012$) an.

52,5% des Gesamtkollektivs beanstandeten die mangelhafte zeitliche Verfügbarkeit der IONM-Ressourcen. 34,2% gaben technische Schwierigkeiten hinsichtlich der Ableitungen an, 39,2% benannten einen allgemeinen Personalmangel und 14,6% kritisierten eine ungenügende Schulung externer Dienstleister. Dies wurde mit 24,2% am häufigsten von Kliniken der Grundversorgung genannt. Krankenhäuser der Zentral- und Maximalversorgung bemängelten die Schulung zu 7,3% und 9,1% (MV vs. GV $p=0,030$, GV vs. ZV $p=0,027$, ZV vs. MV $p=0,756$).

Des Weiteren formulierten die Teilnehmer im Rahmen von Freitextantworten Verbesserungsvorschläge, um die Effizienz des IONM-Einsatzes zukünftig zu steigern. Hierbei wurden unter anderem die Erstellung allgemeingültiger Leitlinien, die klare Definition von Warnkriterien, die Vereinheitlichung der Schulungen und die zusätzliche Einstellung von Personal genannt.

Trotz der Kritikpunkte und Verbesserungsvorschläge gaben 57,6% der Teilnehmer an, die Indikationsstellung des IONM bei ausreichender Verfügbarkeit zukünftig in ihrer Abteilung zu erweitern.

Es zeigten sich keine weiteren signifikanten Unterschiede im Vergleich zwischen den Fachbereichen, Ländern, der topographischen Lage und den einzelnen Versorgungsstufen.

5 Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Studie bestand darin, die aktuellen epidemiologischen Basisdaten hinsichtlich der Anwendung und Umsetzung des spinalen IONM in Deutschland, Österreich und der deutschsprachigen Schweiz zu ermitteln.

Seit der Einführung erster spinaler IONM-Techniken in den 1970er Jahren nahm dessen Bedeutung in der Neurochirurgie sowie der spinalen Orthopädie und Unfallchirurgie stetig zu [33, 45]. Anfangs beschränkte sich der Einsatz auf die Anwendung der SEP, jedoch folgte bald die Entwicklung weiterer IONM-Modalitäten mit ihren individuellen Stärken und Schwächen. Heutzutage gewährleistet der multimodale Einsatz des IONM den Operateuren vielseitige Vorteile, welche bereits in vielen Studien dargestellt wurden [19, 26, 84, 85, 92, 100]. Dennoch existieren nach wie vor keine standardisierten Empfehlungen zu dessen Anwendung und Einsatzspektrum, was zu einer großen Heterogenität in der Umsetzung führt.

Um den aktuellen Stand des IONM zu verdeutlichen ermittelten wir in unserer Studie verschiedene Aspekte. Hierzu zählten die Art und Anzahl spinaler Eingriffe, die Anwendung und Indikation des IONM, der Einsatz der individuellen Modalitäten sowie dessen organisatorische Umsetzung. Zusätzlich wurde die Zufriedenheit der Kliniken in Hinblick auf den aktuellen Stand des IONM und dessen klinikinterne Nutzung erhoben.

5.1 Diskussion der Methode

Zur Ermittlung der epidemiologischen Basisdaten entschieden wir uns für die Durchführung einer Querschnittsstudie mittels Onlinefragebogens. Dieser ermöglichte es in einem kurzen Zeitraum ein großes Kollektiv von 575 Teilnehmern, verteilt auf 3 Länder, einzuschließen. Auch die Unterteilung in unterschiedliche Subkategorien erwies sich als praktikabel und erlaubte eine gezielte Untersuchung der Ergebnisse. Es konnte eine Auswertung des Gesamtkollektivs durchgeführt werden, zeitgleich auch die einzelnen Länder, die Fachbereiche, die unterschiedlichen Versorgungsstufen und die topographische Lage gesondert betrachten und verglichen werden. In Hinblick auf die einzelnen Subkategorien muss jedoch berücksichtigt werden, dass diese quantitativ nicht ausgeglichen sind. Im Vergleich der Länder liegt die Verteilung der teilnehmenden Kliniken auf Deutschland, Österreich und der deutschsprachigen Schweiz bei 81,6%, 7,5% und 10,8%. Ebenso zeigten die Fachbereiche eine unterschiedliche

Teilnehmerdichte von 81,6% und 18,3% in der neurochirurgischen und orthopädischen, unfallchirurgischen Wirbelsäulenchirurgie auf.

Die Umfrage erwies sich mit 36 Fragen als ausgesprochen umfangreich. Dies gewährleistete es viele unterschiedliche Aspekte des IONM zu erfragen, nahm jedoch auch Einfluss auf die Teilnahmemotivation, da sehr lange Surveys die Rücklaufquote senken [54]. Mit der Verwendung von Fragen der Kategorien „Einfachauswahl“, „Mehrfachauswahl“ und „Freitextantwort“ konnten umfassende Informationen der partizipierenden Abteilungen gesammelt und ausgewertet werden. Die Freitextantworten ermöglichten es den Teilnehmern individuelle Situationen zu schildern. Dies verbesserte die Motivation vieler Studienteilnehmer, hinderte jedoch auch einen geringen Anteil an der Teilnahme, da die Beantwortung mit einem entsprechenden Zeitaufwand verbunden war.

Ein Nachteil zeigte sich in der unterschiedlichen Krankenhausdichte hinsichtlich der Länder und der topographischen Lage. Die jeweiligen Antworten der Teilnehmer wurden entsprechend im Verhältnis zu der Population der Subkategorie berechnet. So ergab sich beispielsweise bei 15 neurochirurgischen Abteilungen in Österreich bereits bei einer geringen Anzahl von Antworten ein großer Prozentsatz.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

5.2.1 Charakteristika und Rücklaufquote der Teilnehmer

Eine Rücklaufquote von über 60% ermöglichte es uns die epidemiologischen Basisdaten der Anwendung des IONM in Deutschland, Österreich und der deutschsprachigen Schweiz mit einer hohen Validität auszuwerten.

Unterschiede in den Charakteristika der partizipierenden Abteilungen zeigten sich in der Verteilung der Versorgungsstufen. In allen Ländern wiesen die Kliniken der Maximalversorgung eine höhere Rücklaufquote auf. Diese bestätigte sich ebenso durch die ausgeprägte Teilnahme der Universitätskliniken, welche ebenfalls als Kliniken der Maximalversorgung einzustufen sind. Ein großes wissenschaftliches Interesse der Teilnehmer universitärer Kliniken und der hohe Bekanntheitsgrad der Umfrageersteller könnten dies ursächlich erklären.

Im Ländervergleich entstammten in Deutschland topographisch mehr Studienteilnehmer aus einer städtischen Region. Dies ist auf das Vorhandensein vieler Städte mit einer Einwohnerzahl von über 100.000 Bewohnern zurückzuführen.

In Österreich hingegen zeigte sich eine größere Teilnahme in dem Fachbereich der Neurochirurgie. Diese Abteilung stellte jedoch länderspezifisch mit 15 versendeten Umfragen (25% im Vergleich zur orthopädischen, unfallchirurgischen Wirbelsäulenchirurgie) ein sehr kleines Kollektiv dar.

Es zeigten sich keine weiteren signifikanten Unterschiede im Vergleich der Umfrageteilnehmer, was die Grundlage einer repräsentativen Auswertung des Gesamtkollektivs darstellte.

Während des Umfrageprozesses stellte sich im Nachhinein heraus, dass die Teilnehmer keine Möglichkeit hatten direkt anzugeben, falls das IONM in ihrer Klinik nicht verwendet wird. Diese Information erhielten wir erst durch eine telefonische Kontaktaufnahme.

5.2.2 Anwendung des IONM

5.2.2.1 Allgemeine Anwendung

Wir konnten in unserer Studie darlegen, dass insgesamt 43,1% der Teilnehmer das spinale IONM in ihrer Abteilung anwenden. Diese Angaben stehen im Einklang mit einer französischen Studie aus dem Jahr 2013, in der 117 ärztliche Vertreter der Wirbelsäulenchirurgie eingeschlossen wurden und sich eine IONM-Anwendung von 36% ergab [26]. Jedoch wurde in dieser Umfrage keine detailliertere Analyse der einzelnen Subkategorien durchgeführt und es zeigten sich lediglich die Werte der Gesamtpopulation.

In unserer Querschnittsstudie konnten wir verdeutlichen, dass die Anwendung des IONM mit 14,7% vor allem in der orthopädischen, unfallchirurgischen, verglichen zu 75,9% in der neurochirurgischen Wirbelsäulenchirurgie, sehr gering ausgeprägt war. Eine mögliche Begründung dieser Tatsache könnte auf der historischen Entwicklung des IONM basieren. Die Einführung der ersten Modalitäten ist im deutschsprachigen Raum auf Fachärzte der Neurochirurgie zurückzuführen [22, 41]. In diesem Fachbereich entstanden somit bereits frühzeitig die ersten Erfahrungswerte und es bildete sich eine fächerspezifische Expertise aus. Die Verwendung im Fachbereich der Orthopädie/Unfallchirurgie folgte hingegen erst in den 1970er Jahren [22, 53]. Zudem unterscheiden sich die spinalen Operationsindikationen in der Orthopädie/Unfallchirurgie und Neurochirurgie. Demnach werden in der Orthopädie häufiger knöcherne Eingriffe, wie Skoliosekorrekturen durchgeführt, in der Neurochirurgie hingegen komplexere spinale Eingriffe, wie z.B. die Resektion intraduraler Tumore. Die Komplexität und das

erhöhte Risiko neuronale Strukturen zu verletzen, könnte erklären, warum das IONM diesbezüglich häufiger in der Neurochirurgie verwendet wurde.

Die geringe Anwendung des IONM in der Rubrik „degenerative Erkrankungen“, die sich in den orthopädischen, unfallchirurgischen Kliniken zeigte, könnte implizieren, dass jenes in Fachkliniken mit hohen Fallzahlen seltener eingesetzt wird.

Unsere Auswertung zeigte Unterschiede in der Anwendung des spinalen IONM in Bezug auf die topographische Lage sowie die unterschiedlichen Versorgungsstufen. Es ergab sich eine ausgeprägte Anwendung in städtischen Krankenhäusern (51,9%), Kliniken der Maximalversorgung (67,1%) und Universitätskliniken (68,4%). Diese Verteilungstendenz wurde bereits in den USA anhand diverser Studien dargestellt. Laratta et al. gab 2014 eine IONM-Anwendung von 72,9% und 25,0% in städtischen Kliniken mit und ohne Lehrauftrag an. In ländlichen Regionen lag die IONM-Nutzung bei 2,2% [45]. James et al. nannte 2011 eine IONM-Anwendung von 7% in städtischen und 4% in ländlichen Kliniken. Die Gesamtzahlen der IONM-Anwenderrate waren in dieser Studie geringer, da sie viele Operationen einschloss, für die das IONM sehr selten verwendet wird [36]. Da neurochirurgische Fachabteilungen und Kliniken der Maximalversorgung, insbesondere Universitätskliniken, vor allem städtisch lokalisiert sind, ist ein Zusammenhang dieser 4 Kriterien in geringem Maße denkbar.

Die von uns ermittelte IONM-Anwendung von 43,1% sowie die Unterschiede zwischen den einzelnen Fachbereichen entsprechen nicht den Ergebnissen einer kanadischen Umfrage aus dem Jahr 2004 [49]. Diese postulierte das Vorhandensein des IONM in 95% der Fälle, ohne zwischen den neurochirurgischen und orthopädischen, unfallchirurgischen Fachabteilungen zu differenzieren. Diese Abweichung zu unseren Ergebnissen kann mit der methodischen Durchführung der kanadischen Studie begründet werden. Das Studienkollektiv bestand in diesem Fall aus 139 hoch spezialisierten Wirbelsäulenchirurgen einer Nationalen Expertenkonferenz (14th Annual Disorder of Spine Meeting, Whistler, British Columbia, Canada) [49]. Die Ergebnisse der kanadischen Studie gewährleisteten epidemiologisch somit kein repräsentatives Ergebnis, welches auf den Durchschnitt der kanadischen Wirbelsäulenzentren übertragbar ist [49]. Diese Schlussfolgerung wurde 2010 in einer Umfrage von 95 Mitgliedern der Kanadischen Wirbelsäulengesellschaft (CSS) mit einer IONM-Verfügbarkeit von 65,3% bestätigt [65].

5.2.2.2 Anwendung der einzelnen IONM-Modalitäten

Analog zu diversen Publikationen [15, 26, 28, 44, 49], konnten wir in unserer Querschnittsstudie feststellen, dass vor allem die MEP und SEP mit 93,7% und 94,3% die häufigsten IONM-Modalitäten darstellten. Dies zeigte sich sowohl in Hinblick auf die generelle Verfügbarkeit der IONM-Modalitäten, wie auch in der Anwendung bei den unterschiedlichen spinalen Operationshöhen (zervikal, thorakal und lumbal). Die direkte Nervenstimulation und das EMG wurden je zu einem Umfang von 19-37% und 29-45% genannt. Die häufigste Anwendung erfolgte bei lumbalen Eingriffen. Diese Ergebnisse stimmen mit vorangegangenen Publikationen [31, 44, 64, 70, 71] überein, welche die Bedeutung der direkten Nervenstimulation bei dem Setzen der Pedikelschraube und die EMG-Messung bei thorakalen und lumbalen Eingriffen in offener und perkutaner Operationstechnik verdeutlichten. Die Anwendung der D-Wellen beschränkt sich auf die zervikale und thorakale Operationshöhe bis maximal TH 12 [63]. Dennoch zeigten sich bei den verwendeten IONM-Modalitäten hinsichtlich des lumbalen Wirbelsäulenabschnittes signifikante Unterschiede. So gaben 90% der Teilnehmer an die D-Welle bei entsprechenden Eingriffen nicht zu verwenden, 10% hingegen benannten die Anwendung dieser Modalität, was uns unerklärlich ist.

5.2.3 Jährliche Fallzahlen spinaler Eingriffe und die Anwendung des IONM

Wir konnten in unserer Studie zeigen, dass 54% der teilnehmenden neurochirurgischen und orthopädischen, unfallchirurgischen Wirbelsäulenzentren mehr als 600 spinale Operationen pro Jahr durchführten. Die Mehrheit von 93% verwendete bei weniger als 150 Eingriffen das IONM. Um die wichtigsten Operationsindikationen für die Anwendung des IONM aufzuzeigen wurden die Fallzahlen unterschiedlichster Kategorien erhoben. Dabei zeigte sich ein signifikanter Einsatz des IONM bei der operativen Behandlung skoliotischer Wirbelsäulenveränderungen, als auch bei der Resektion intraduraler und intramedullärer Raumforderungen. Diese Ergebnisse korrespondieren mit vorangegangenen Publikationen [44, 59, 62]. Es zeigte sich, dass jene Kliniken mit höheren jährlichen Fallzahl das IONM häufiger verwendeten. Die Echtzeitmessung der Unversehrtheit neurologischer Strukturen bei der Skoliosekorrektur stellt eine hilfreiche Alternative zu dem intraoperativen Aufwachtest der Patienten dar [62]. Dieser Vorteil könnte die häufige Anwendung des IONM bei entsprechender Operationsindikation implizieren. Auch der verstärkte Einsatz des IONM bei der Resektion intramedullärer Raumforderungen steht im Einklang mit vergangenen

Publikationen [32, 92]. Durch die örtliche Nähe zu eloquenten neuronalen Strukturen stellen diese Eingriffe ein erhöhtes Risiko dar. Die Verwendung des IONM ermöglicht es die Resektionsgrenzen sicherer festzulegen und postoperative neurologische Defizite vorzubeugen [13, 76].

Im Gegensatz zu den häufigen Indikationen wurde das IONM von den Studienteilnehmern seltener für Operationen degenerativer und traumatischer Wirbelsäulenveränderungen sowie ossärer und extraduraler Neoplasien eingesetzt. In der Literatur werden entsprechende Eingriffe mit einem niedrigeren Operationsrisiko assoziiert und es zeigt sich eine unschlüssige Evidenz hinsichtlich der Anwendung des IONM [18, 25, 29, 36, 72, 96].

5.2.4 Organisation der technischen Umsetzung, Überwachung und Interpretation des IONM

Zum aktuellen Zeitpunkt gibt es keine offiziellen Daten, welche die personelle Umsetzung des IONM darlegen. Wir konnten in unserer Studie feststellen, dass die Organisation der technischen Durchführung, der Überwachung und der Auswertung des IONM sehr heterogen von den Teilnehmern umgesetzt wurde. Am häufigsten ordneten die partizipierenden Wirbelsäulenzentren diese Aufgaben einer speziell geschulten MTA, dem verantwortlichen Assistenzarzt und dem verantwortlichen Oberarzt zu. Zudem benannten vereinzelte Abteilungen den anästhesiologischen und neurologischen Facharzt sowie konsiliarische externe Dienstleister. Es ist erstaunlich, dass vor allem der neurologische Facharzt, der die größte Expertise im Bereich der Elektrophysiologie aufweisen sollte, mit nur 5% von einer Minderheit des teilnehmenden Kollektivs genannt wurde. Dies könnte auf die historische Entwicklung des IONM zurückzuführen sein, welches in Deutschland von neurochirurgischen Fachärzten eingeführt wurde. In Deutschland existiert zudem kein eigener Facharzt für die klinische Neurophysiologie, wie es beispielsweise in Spanien oder Finnland der Fall ist. In diesen Ländern wird die Organisation und Verantwortung des IONM in den meisten Fällen den entsprechend spezialisierten Fachärzten übertragen.

In unserer Umfrage zeigte sich, dass in den Kliniken mit hohen Fallzahlen spinaler Eingriffe die technische Umsetzung und Überwachung des IONM vor allem dem nicht-ärztlichen Personal, wie der MTA zugeschrieben wurde. Dies traf insbesondere auf die neurochirurgischen Wirbelsäulenzentren und Kliniken der Maximalversorgung zu. Möglicherweise ist dies auf die Personalstruktur zurückzuführen. Einige Krankenhäuser mit einer großen Anzahl IONM-basierter Operationen stellen speziell geschulte MTA ein,

deren Aufgabe sich ausschließlich auf dessen Anwendung und Umsetzung fokussiert. Es ist eindrucklich, dass die Gesamtzahl der Umfrageteilnehmer in der Neurochirurgie und Orthopädie/Unfallchirurgie die Anwendung des IONM zu 1/3 bzw. 2/3 nicht-ärztlichem Personal zuschreiben, wobei eine eventuelle Supervision dieses Personals nicht konkret erfragt wurde. Diese Ergebnisse könnten eine simultane Betreuung durch einen ärztlichen Supervisor implizieren, wie es in den USA bereits seit den 90er Jahren gängig ist [58]. Unsere Studie verdeutlichte des Weiteren, dass in vier von fünf aller partizipierenden Kliniken das IONM im eigenen Haus organisiert wurde. Nur eine Minderheit der Teilnehmer gab an, für entsprechende Operationen externes, speziell geschultes Personal hinzuzuziehen. Hierbei handelte es sich vor allem um orthopädische, unfallchirurgische Fachabteilungen. Diese wiesen insgesamt, im Vergleich zu den neurochirurgischen Abteilungen, eine geringere Fallzahl der jährlich durchgeführten spinalen Eingriffe auf, was eine ursächliche Erklärung bietet.

5.2.5 Zufriedenheit mit dem heutigen Stand des IONM

Obwohl die Anwendung des IONM in den teilnehmenden Krankenhäusern sehr unterschiedlich umgesetzt wurde, ergab sich diesbezüglich eine ausgesprochen große Zufriedenheit. Diese bekundeten über 80% der Teilnehmer explizit in Hinblick auf die technische Umsetzung, Überwachung und Auswertung des IONM. Viele neurochirurgische und orthopädische, unfallchirurgische Wirbelsäulenzentren schilderten individuelle Situationen, in denen ihnen die Anwendung des IONM große Vorteile erbrachte. Am häufigsten nannten die Teilnehmer hierbei den Einsatz bei der Operation spinaler Tumore, da Resektionsgrenzen effektiver definiert werden konnten. Auch die frühzeitige Erkennung neuronaler Kompressionen mit der entsprechenden Möglichkeit schnell darauf zu reagieren, um ein postoperatives Defizit zu vermeiden, wurde häufig erwähnt. Vor allem die orthopädischen, unfallchirurgischen Abteilungen hoben zudem die erhöhte Sicherheit bei dem Setzen von Pedikelschrauben hervor. Ganz allgemein gaben viele Studienteilnehmer an, dass das IONM eine größere Operationssicherheit bietet und das Risiko postoperativer Defizite senkt. All die genannten Vorteile finden sich ebenfalls in vielen Publikationen [19, 44, 84, 92, 100] wieder.

Die Mehrheit der Studienteilnehmer verwies zudem darauf, dass die Indikationsstellung für die Anwendung des IONM in der eigenen Klinik erweitert werden sollte. 74% würde sich wünschen, hierfür eine speziell geschulte MTA einzusetzen, die dies zusammen mit einem qualifizierten Arzt routinemäßig umsetzt.

5.2.6 Vorkommen falsch-positiver und falsch-negativer Ereignisse

33% der Teilnehmer gaben an bereits falsch-negative und 54% falsch-positive Messergebnisse erhalten zu haben. Bei der Auswertung der einzelnen Freitextbeschreibungen zeigte sich jedoch, dass einige Situationen auf eine fehlerhafte Anwendung des IONM zurückzuführen waren. Die tatsächlichen Werte der falsch-negativen und falsch-positiven Ergebnisse beliefen sich nach detaillierter Analyse auf 13% und 29%, wobei unsere Studie keinen genauen Rückschluss auf die einzelnen Modalitäten oder Operationsindikationen ermöglichte. Bei der Beschreibung der individuellen Situation gaben die Teilnehmer beispielsweise an, dass Kabeldislokationen und falsche Elektrodenplatzierungen zu fehlerhaften Ergebnissen führten. Auch die unzureichende Kommunikation zwischen dem Anästhesisten, dem Operateur und dem IONM-verantwortlichen Personal verursachte Probleme bei der Interpretation und Auswertung. Nach Angabe einzelner Teilnehmer wurden Messergebnisse durch die Wahl der falschen Narkose, der rapiden Blutdruckänderungen des Patienten und der Temperaturänderung des Operationsgebietes verfälscht. Dies zeigt, dass der Einsatz von speziell geschultem Personal, die Kommunikation des Operationsteams und das fundierte Wissen zu den physiologischen Einflussfaktoren des IONM wichtige Grundlagen darstellen, um dieses sinnvoll, fehlerfrei und zielführend zu verwenden. Auch die Einführung allgemein gültiger Richtlinien und einheitlicher Warnkriterien, deren Fehlen von den teilnehmenden Wirbelsäulenzentren moniert wurde, könnte die Fehlerquote der IONM-Anwendung reduzieren.

5.2.7 Kritikpunkte und Verbesserungsvorschläge zum aktuellen Stand des IONM

39% der teilnehmenden Wirbelsäulenzentren bemängelten in unserer Umfrage ein allgemeines Defizit an qualifiziertem, speziell geschultem Personal sowie verfügbaren IONM-Ressourcen. 34% der Teilnehmer gaben ebenfalls Probleme mit der technischen Anwendung an, was einen Zusammenhang andeuten könnte.

Am stärksten kritisierten jedoch 84% der Teilnehmer eine unzureichende monetäre Vergütung des IONM. So gaben diese an, dass auch Operationszeiten von weniger als vier Stunden im DRG-Katalog berücksichtigt werden sollten. Bei Eingriffen unter der vorgegebenen Zeit kann die Klinik weder die Materialien noch das Personal abrechnen. Der Einsatz des IONM bringt wirtschaftliche Mehrausgaben mit sich, denen jedoch sekundär ein wirtschaftlicher Gewinn durch die Reduktion iatrogenen neurologischer

Verletzungen gegenübersteht. Diese Kosten Nutzen-Analyse wurde bereits in diversen Studien durchgeführt und sollte bei der Vergütung des IONM Berücksichtigt werden.

So errechnete Ney et al. 2013 mithilfe der Zahlen des Center for Medicare and Medicaid Service IONM-Ausgaben in Höhe von 1535,02 USD für eine fünfstündige spinale Operation unter multimodaler Anwendung des SEP, MEP und EMG [57]. Ney et al. verglich diese Ausgaben mit dem wirtschaftlichen Gewinn, der durch die Reduktion postoperativer neurologischer Defizite erzielt wurde. Je nach Ausmaß des neurologischen Schadens können hohe Kosten durch eine Verlängerung des Krankenhausaufenthaltes, Zusatzuntersuchungen, Physiotherapie, Medikamenteneinnahmen, Rehabilitationsmaßnahmen, medizinische Hilfsmittel und sekundär durch den langfristigen Arbeitsausfall entstehen. Es zeigte sich insgesamt eine Ersparnis der operationsassoziierten Lebenszeitkosten von 23.189 USD pro spinaler Operation [57]. Bei 100 Operationen erzielt der Einsatz des IONM gemäß der Studie folglich einen Gewinn von 2,3 Millionen USD [57].

In einer weiteren Studie führte Ney et al. 2018 eine Kosten-Nutzen-Analyse des IONM-Einsatzes bei zervikalen Operationen durch [56]. Hierbei ergab sich ein postoperativer wirtschaftlicher Gewinn von 386 USD pro Jahr und Operation [56].

Lall et al. publizierte 2012, dass der Einsatz des SEP bei 200 spinalen Operationen 120.000 USD kostet und durchschnittlich einen neurologischen Schaden verhindert [44]. Die wirtschaftlichen Ausgaben, die sekundär durch eine Paraplegie oder Tetraplegie entstehen, überragen diesen Betrag jedoch bereits im ersten Krankheitsjahr [44].

2013 veröffentlichte das National Spinal Cord Injury Statistical Center in Birmingham, Alabama, die Lebenszeitkosten bei einer hohen (C1-C4) sowie niedrigen (C5-8) Tetraplegie und einer Paraplegie. Diese summierten sich bei einem 25-Jährigen auf 4.633.137 USD, 3.385.259 USD und 2.265.584 USD [55].

Obwohl die Anwendung des IONM die wirtschaftlichen Ausgaben initial erhöht, führt die Vermeidung neurologischer Defizite zu einer Kosteneinsparung.

5.3 Ausblick

Die Ergebnisse unserer Studie verdeutlichen, dass der Einsatz des IONM in vielen Krankenhäusern einen sehr wichtigen Aspekt der neurochirurgischen und orthopädischen, unfallchirurgischen Wirbelsäulenoperationen darstellt. Bereits bei der Skoliosekorrektur, als auch bei der Resektion spinaler Tumore wird das IONM in

Deutschland, Österreich und der deutschsprachigen Schweiz sehr häufig angewendet. Die Mehrheit der Studienteilnehmer verdeutlichte zudem, dass die Indikationsstellung für den Einsatz des IONM in der Zukunft weiter ausgebaut werden sollte. Dies wurde von den Kliniken mit der Nennung verschiedenster Vorteile, die das IONM bietet, untermauert. Diesem Ziel stehen jedoch diverse Probleme gegenüber, die zum aktuellen Stand eine Indikationserweiterung erschweren. Der Mangel an geschulten Mitarbeitern, das Fehlen allgemeingültiger Leitlinien, die klare Definition von Warnkriterien und die mangelhafte Vergütung der klinikinternen IONM-Anwendung begrenzen im Moment die Möglichkeiten, dieses häufiger einzusetzen. Es bedarf einer besseren monetären Vergütung und der Ausbildung sowie Einstellung von mehr Personal, um auch in Zukunft einer noch größeren Patientenzahl die Möglichkeit zu bieten, von den Vorteilen des IONM zu profitieren.

6 Zusammenfassung

Die Anwendung des IONM hat sich in den vergangenen Jahrzehnten vor allem in der spinalen Neurochirurgie sowie der orthopädischen Skoliosekorrektur stark etabliert und zunehmend an Bedeutung gewonnen. Da die Umsetzung jedoch sehr heterogen praktiziert wird, bestand das Ziel unserer Studie darin, die epidemiologischen Basisdaten der Verwendung des IONM zu ermitteln. Diese bezogen sich auf die Art und Anzahl spinaler Eingriffe, die Anwendung und Indikation des IONM, die organisatorische Umsetzung und die Zufriedenheit mit dem aktuellen Stand. Um dies zu quantifizieren führten wir vom 29.11.2017-29.04.2018 eine Onlineumfrage durch. Diese wurde an 575 Wirbelsäulenzentren, 463 in Deutschland, 60 in Österreich und 52 in der deutschsprachigen Schweiz versendet. Die Teilnehmer wurden in die Subkategorien der unterschiedlichen Fachbereiche, Versorgungsstufen und die topographische Lage unterteilt, um eine detaillierte Auswertung zu ermöglichen.

Wir erzielten in Deutschland eine Rücklaufquote von 64,1%, in Österreich 68,3% und in der deutschsprachigen Schweiz 55,8%. 75,9% der teilnehmenden neurochirurgischen und 14,7% der orthopädischen, unfallchirurgischen Wirbelsäulenzentren gaben an, das IONM in ihrer Abteilung zu verwenden. Die Kliniken der Maximalversorgung wiesen mit 63,3% die höchste, Kliniken der Grundversorgung mit 17,1% die geringste Anwenderrate auf. Am häufigsten verwendeten die Teilnehmer insgesamt das SEP (94,3%) und MEP (93,7%), gefolgt von der D-Welle (66,5%) und der direkten Nervenstimulation (65,8%). Am seltensten wurde das IONM für Operationen degenerativer und traumatischer Veränderungen sowie extraduraler Raumforderungen verwendet. Hingegen zeigte sich eine häufige Anwendung bei der operativen Skoliosekorrektur und der Resektion intraduraler Neoplasien. 82,3% der Teilnehmer gaben eine Unverzichtbarkeit des IONM bei Operationen intramedullärer Raumforderungen an. Insgesamt wiesen 80% der partizipierenden Kliniken eine große Zufriedenheit mit der technischen Umsetzung, Überwachung und Auswertung des IONM auf. Dennoch kritisierten 39,2% einen Mangel an geschultem Personal und 83,5% eine unzureichende monetäre Vergütung. Da die Mehrheit von 57,6% auch in Zukunft die Indikationsstellung des IONM erweitern möchte, ist es wichtig dem aktuellen Personalmangel und der geringen Vergütung entgegenzuwirken. Die Verbesserung und quantitative Steigerung der Personalschulung und Ausbildung stellt in der Zukunft somit eine wichtige Herausforderung dar.

7 Literaturverzeichnis

1. Ajiboye, R.M., H.Y. Park, J.R. Cohen, et al., Demographic trends in the use of intraoperative neuromonitoring for scoliosis surgery in the United States. *Int J Spine Surg*, 2018. 12(3): p. 393-398.
2. Al-Subari, K.S.A., A study of biomedical time series using empirical mode decomposition. 2017, Universität Regensburg: Regensburg. p. 117.
3. Behrends, J.C., *Physiologie*. 2010, Thieme: Stuttgart. p. 763-767.
4. Bogner, K. and U. Landrock, *Antworttendenzen in standardisierten Umfragen*. Mannheim, GESIS–Leibniz Institut für Sozialwissenschaften (SDM Survey Guidelines), 2015: p. 1-9.
5. Boldrey, E. and W. Penfield, Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation. *Brain*, 1937. 60(4): p. 389-443.
6. Brown, R.H. and C.L. Nash, Jr., Current status of spinal cord monitoring. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1979. 4(6): p. 466-470.
7. Buchner, H. and J. Claßen, *Praxisbuch evozierte Potenziale: Allgemeine Methodik der evozierten Potentiale* 2014, Thieme: Stuttgart. p. 157-167.
8. Bumke, O. and O. Foerster, *Motorische Felder und Bahnen*, in *Handbuch der Neurologie IV*. 1936, Springer: Berlin. p. 49-56.
9. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, *Bundesgesetzblatt Jahrgang 1993, Teil I, Gesetz über technische Assistenten in der Medizin (MTA-Gesetz - MTAG), Zweiter Abschnitt Ausbildung, §4*. Vol. 42. 1993, Bonn: Bundesanzeiger Verlag.
10. Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort, *Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Medizinische Assistenzberufe-Gesetz, Fassung vom 03.05.2020, § 38 Medizinisch-technischer Fachdienst - gehobene medizinisch-technische Dienste StF: BGBl. I Nr. 89/2012*. Vol. 2020. 2020, Wien Bundesgesetzblatt.
11. Burke, D. and R.G. Hicks, Surgical monitoring of motor pathways. *J Clin Neurophysiol*, 1998. 15(3): p. 194-205.

12. Caton, R., Electrical currents of the brain. *The Journal of Nervous and Mental Disease*, 1875. 2(4): p. 610.
13. Choi, I., S.J. Hyun, J.K. Kang, et al., Combined muscle motor and somatosensory evoked potentials for intramedullary spinal cord tumour surgery. *Yonsei Med J*, 2014. 55(4): p. 1063-1071.
14. Davis, F.A. and S. Jacobson, Altered thermal sensitivity in injured and demyelinated nerve: A possible model of temperature effects in multiple sclerosis. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 1971. 34(5): p. 551-561.
15. Deletis, V., D.B. Mac Donald, F. Sala, et al., Comments on: "Intraoperative neurophysiologic monitoring in spine surgery. Developments and state of the art in France in 2011" written by M. Gavaret et al. published in *Orthop Traumatol Surg Res*, 2013. p. 319-327. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2014. 100(3): p. 353-354.
16. Deletis, V. and F. Sala, Intraoperative neurophysiological monitoring of the spinal cord during spinal cord and spine surgery: a review focus on the corticospinal tracts. *Clin Neurophysiol*, 2008. 119(2): p. 248-264.
17. DIMDI - Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information. DIMDI Medizinwissen. 2020 [abgerufen am 14.06. 2020]; URL: <https://www.dimdi.de/static/de/klassifikationen/ops/kode-suche/opshtml2019/block-8-92...8-93.htm>.
18. Dimopoulos, V.G., C.H. Feltes, K.N. Fountas, et al., Does intraoperative electromyographic monitoring in lumbar microdiscectomy correlate with postoperative pain. *South Med J*, 2004. 97(8): p. 724-728.
19. Eager, M., F. Jahangiri, A. Shimer, et al., Intraoperative neuromonitoring: lessons learned from 32 case events in 2095 spine cases. *Evid Based Spine Care J*, 2010. 1(2): p. 58-61.
20. Eisner, W., Elektrophysiologisches Monitoring in der Neurochirurgie. *Journal für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie*, 2001. 2(2): p. 28-55.
21. Fehlings, M.G., D.S. Brodke, D.C. Norvell, et al., The evidence for intraoperative neurophysiological monitoring in spine surgery: does it make a difference. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2010. 35(9): p. 37-46.

22. Galloway, G.M., M.R. Nuwer, J.R. Lopez, et al., Introduction, history, and staffing for intraoperative monitoring, in *Intraoperative Neurophysiologic Monitoring*, M.R. Nuwer, Editor. 2010, Cambridge University Press: Cambridge. p. 1-9.
23. Galloway, G.M., M.R. Nuwer, J.R. Lopez, et al., Pedicle screw application and electromyographic recording, in *Intraoperative Neurophysiologic Monitoring*, G.M. Galloway, Editor. 2010, Cambridge University Press: Cambridge. p. 101-108.
24. Galvani, L., *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius*. 1791, Ex Typographia Instituti Scientiarum: Bologna.
25. Garcia, R.M., S.A. Qureshi, E.H. Cassinelli, et al., Detection of postoperative neurologic deficits using somatosensory-evoked potentials alone during posterior cervical laminoplasty. *Spine J*, 2010. 10(10): p. 890-895.
26. Gavaret, M., J.L. Jouve, Y. Pereon, et al., Intraoperative neurophysiologic monitoring in spine surgery. *Developments and state of the art in France in 2011*. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2013. 99(6 Suppl): p. 319-327.
27. Gertsch, J.H., J.J. Moreira, G.R. Lee, et al., Practice guidelines for the supervising professional: intraoperative neurophysiological monitoring. *J Clin Monit Comput*, 2019. 33(2): p. 175-183.
28. Gonzalez, A.A., D. Jeyanandarajan, C. Hansen, et al., Intraoperative neurophysiological monitoring during spine surgery: a review. *Neurosurg Focus*, 2009. 27(4): p. 6.
29. Gundanna, M., M. Eskenazi, J. Bendo, et al., Somatosensory evoked potential monitoring of lumbar pedicle screw placement for in situ posterior spinal fusion. *Spine J*, 2003. 3(5): p. 370-376.
30. Gunter, A. and K.J. Ruskin, Intraoperative neurophysiologic monitoring: utility and anesthetic implications. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2016. 29(5): p. 539-543.
31. Hamilton, D.K., J.S. Smith, C.A. Sansur, et al., Rates of new neurological deficit associated with spine surgery based on 108,419 procedures: a report of the scoliosis research society morbidity and mortality committee. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2011. 36(15): p. 1218-1228.

32. Hsu, W., C. Bettegowda and G.I. Jallo, Intramedullary spinal cord tumor surgery: can we do it without intraoperative neurophysiological monitoring. *Childs Nerv Syst*, 2010. 26(2): p. 241-245.
33. Husain, A.M., R.G. Emerson and M.N. Nuwer, Emerging subspecialties in neurology: neurophysiologic intraoperative monitoring. *Neurology*, 2011. 76(15): p. 73-75.
34. Hyun, S.J., S.C. Rhim, J.K. Kang, et al., Combined motor- and somatosensory-evoked potential monitoring for spine and spinal cord surgery: correlation of clinical and neurophysiological data in 85 consecutive procedures. *Spinal Cord*, 2009. 47(8): p. 616-622.
35. Institut für das Entgeltsystem im Krankenhaus GmbH, aG-DRG-Version 2020 Definitionshandbuch Kompaktversion, Band 1. 2019: Siegburg. p. 166-168.
36. James, W.S., A.I. Rughani and T.M. Dumont, A socioeconomic analysis of intraoperative neurophysiological monitoring during spine surgery: national use, regional variation, and patient outcomes. *Neurosurg Focus*, 2014. 37(5): p. 10.
37. Jones, S.J., S. Buonamassa and H.A. Crockard, Two cases of quadriparesis following anterior cervical discectomy, with normal perioperative somatosensory evoked potentials. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2003. 74(2): p. 273-276.
38. Kim, S.M., S.H. Kim, D.W. Seo, et al., Intraoperative neurophysiologic monitoring: basic principles and recent update. *J Korean Med Sci*, 2013. 28(9): p. 1261-1269.
39. Kobayashi, S., Y. Matsuyama, K. Shinomiya, et al., A new alarm point of transcranial electrical stimulation motor evoked potentials for intraoperative spinal cord monitoring: a prospective multicenter study from the Spinal Cord Monitoring Working Group of the Japanese Society for Spine Surgery and Related Research. *J Neurosurg Spine*, 2014. 20(1): p. 102-107.
40. Korn, A., D. Halevi, Z. Lidar, et al., Intraoperative neurophysiological monitoring during resection of intradural extramedullary spinal cord tumors: experience with 100 cases. *Acta Neurochir (Wien)*, 2015. 157(5): p. 819-830.
41. Krause, F., Die operative Behandlung der Epilepsie. *Medizinische Klinik*, 1909. 5: p. 1418-1422.

42. Krzovska, M., Basics Neurologie. 2009, Elsevier, Urban & Fischer: München. p. 41-45.
43. Laget, P. and R. Salbreux, Atlas d'électroencéphalographie infantile. 1967, Masson: Paris. p. 3-4.
44. Lall, R.R., J.S. Hauptman, C. Munoz, et al., Intraoperative neurophysiological monitoring in spine surgery: indications, efficacy, and role of the preoperative checklist. Neurosurg Focus, 2012. 33(5): p. 10.
45. Laratta, J.L., J.N. Shillingford, A. Ha, et al., Utilization of intraoperative neuromonitoring throughout the United States over a recent decade: an analysis of the nationwide inpatient sample. J Spine Surg, 2018. 4(2): p. 211-219.
46. Lungen, M. and K. Lauterbach, DRG in deutschen Krankenhäusern: Umsetzung und Auswirkungen: Einführung von DRG in Deutschland. 2003, Schattauer: Stuttgart. p. 1-28.
47. MacDonald, D.B., Safety of intraoperative transcranial electrical stimulation motor evoked potential monitoring. J Clin Neurophysiol, 2002. 19(5): p. 416-429.
48. MacDonald, D.B., S. Skinner, J. Shils, et al., Intraoperative motor evoked potential monitoring – A position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. Clinical Neurophysiology, 2013. 124(12): p. 2291-2316.
49. Magit, D.P., A.S. Hilibrand, J. Kirk, et al., Questionnaire study of neuromonitoring availability and usage for spine surgery. J Spinal Disord Tech, 2007. 20(4): p. 282-289.
50. Masur, K. and M. Neumann, Duale Reihe Neurologie. 2007, Georg Thieme Verlag: Stuttgart. p. 127-139.
51. Mehta, A.I., C.A. Mohrhaus, A.M. Husain, et al., Dorsal column mapping for intramedullary spinal cord tumor resection decreases dorsal column dysfunction. J Spinal Disord Tech, 2012. 25(4): p. 205-209.
52. Michels, P., A. Bräuer, M. Bauer, et al., Neurophysiologisches Monitoring bei operativen Eingriffen. Der Anaesthetist, 2017. 66(9): p. 645-659.

53. Møller, A.R., *Intraoperative Neurophysiological Monitoring: Principles of intraoperative neurophysiological monitoring*. 2006, Humana Press Inc: Totowa, New Jersey. p. 7-51.
54. Naithani, D., Guidelines for developing a robust web survey. *Advances in Information Technology and Management*, 2011. 1(1): p. 20-23.
55. National Spinal Cord Injury Statistical Center, Spinal cord injury facts and figures at a glance. *J Spinal Cord Med*, 2014. 37(3): p. 355-356.
56. Ney, J.P. and D.P. Kessler, Neurophysiological monitoring during cervical spine surgeries: Longitudinal costs and outcomes. *Clin Neurophysiol*, 2018. 129(11): p. 2245-2251.
57. Ney, J.P., D.N. van der Goes and J.H. Watanabe, Cost-benefit analysis: intraoperative neurophysiological monitoring in spinal surgeries. *J Clin Neurophysiol*, 2013. 30(3): p. 280-286.
58. Nuwer, M.R., B.H. Cohen and K.M. Shepard, Practice patterns for intraoperative neurophysiologic monitoring. *Neurology*, 2013. 80(12): p. 1156-1160.
59. Nuwer, M.R., E.G. Dawson, L.G. Carlson, et al., Somatosensory evoked potential spinal cord monitoring reduces neurologic deficits after scoliosis surgery: results of a large multicenter survey. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1995. 96(1): p. 6-11.
60. Oertle, C. and J.-M. Plattner, *Schweizerische Sanitätsdirektorenkonferenz / Schweizerisches Rotes Kreuz (Hrsg. / Projektverantwortung: Oertle Bürki, Cornelia / Plattner, Jean-Michel): Die Diplomausbildungen im Gesundheitswesen. Ausgewählte Daten und Fakten*. Bern: SDK / SRK. 2003.
61. Oppenheimer, A.J., C.J. Pannucci, S.J. Kasten, et al., Survey says? A primer on web-based survey design and distribution. *Plast Reconstr Surg*, 2011. 128(1): p. 299-304.
62. Padberg, A.M., T.J. Wilson-Holden, L.G. Lenke, et al., Somatosensory- and motor-evoked potential monitoring without a wake-up test during idiopathic scoliosis surgery. An accepted standard of care. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1998. 23(12): p. 1392-1400.

63. Park, J.H. and S.J. Hyun, Intraoperative neurophysiological monitoring in spinal surgery. *World J Clin Cases*, 2015. 3(9): p. 765-773.
64. Parker, S.L., A.G. Amin, S.H. Farber, et al., Ability of electromyographic monitoring to determine the presence of malpositioned pedicle screws in the lumbosacral spine: analysis of 2450 consecutively placed screws. *J Neurosurg Spine*, 2011. 15(2): p. 130-135.
65. Peeling, L., S. Hentschel, R. Fox, et al., Intraoperative spinal cord and nerve root monitoring: a survey of Canadian spine surgeons. *Can J Surg*, 2010. 53(5): p. 324-328.
66. Pelosi, L., A. Jardine and J.K. Webb, Neurological complications of anterior spinal surgery for kyphosis with normal somatosensory evoked potentials (SEPs). *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 1999. 66(5): p. 662-664.
67. Quraishi, N.A., S.J. Lewis, M.O. Kelleher, et al., Intraoperative multimodality monitoring in adult spinal deformity: analysis of a prospective series of one hundred two cases with independent evaluation. *Spine*, 2009. 34(14): p. 1504-1512.
68. Rabai, F., R. Sessions and C.N. Seubert, Neurophysiological monitoring and spinal cord integrity. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*, 2016. 30(1): p. 53-68.
69. Radtke, R.A., C.W. Erwin and R.H. Wilkins, Intraoperative brainstem auditory evoked potentials: significant decrease in postoperative morbidity. *Neurology*, 1989. 39(2 Pt 1): p. 187-191.
70. Raynor, B.L., L.G. Lenke, K.H. Bridwell, et al., Correlation between low triggered electromyographic thresholds and lumbar pedicle screw malposition: analysis of 4857 screws. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2007. 32(24): p. 2673-2678.
71. Raynor, B.L., L.G. Lenke, Y. Kim, et al., Can triggered electromyograph thresholds predict safe thoracic pedicle screw placement? *Spine (Phila Pa 1976)*, 2002. 27(18): p. 2030-2035.
72. Resnick, D.K., T.F. Choudhri, A.T. Dailey, et al., Guidelines for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 15: electrophysiological monitoring and lumbar fusion. *J Neurosurg Spine*, 2005. 2(6): p. 725-732.

73. Sakaki, K., S. Kawabata, D. Ukegawa, et al., Warning thresholds on the basis of origin of amplitude changes in transcranial electrical motor-evoked potential monitoring for cervical compression myelopathy. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2012. 37(15): p. 913-921.
74. Sala, F. and C. Di Rocco, Intraoperative neurophysiological monitoring in neurosurgery: moving the debate from evidence and cost-effectiveness to education and training. *World Neurosurg*, 2015. 83(1): p. 32-34.
75. Sala, F., G. Palandri, E. Basso, et al., Motor evoked potential monitoring improves outcome after surgery for intramedullary spinal cord tumors: a historical control study. *Neurosurgery*, 2006. 58(6): p. 1129-1143.
76. Sarnthein, J., N. Krayenbühl, B. Actor, et al., Intraoperatives neurophysiologisches Monitoring verbessert das Outcome in der Neurochirurgie. *Praxis*, 2012. 101(2): p. 99-105.
77. Siller, S., C. Raith, S. Zausinger, et al., Indication and technical implementation of the intraoperative neurophysiological monitoring during spine surgeries—a transnational survey in the German-speaking countries. *Acta Neurochir (Wien)*, 2019. 161(9): p. 1865-1875.
78. Siller, S., A. Szelényi, L. Herlitz, et al., Spinal cord hemangioblastomas: significance of intraoperative neurophysiological monitoring for resection and long-term outcome. *J Neurosurg Spine*, 2017. 26(4): p. 483-493.
79. Skinner, S.A., B.A. Cohen, D.E. Morledge, et al., Practice guidelines for the supervising professional: intraoperative neurophysiological monitoring. *J Clin Monit Comput*, 2014. 28(2): p. 103-111.
80. Sloan, T.B. and E.J. Heyer, Anesthesia for intraoperative neurophysiologic monitoring of the spinal cord. *J Clin Neurophysiol*, 2002. 19(5): p. 430-443.
81. Stöhr, M., J. Dichgans and U. Buettner, *Evozierte Potenziale: SEP — VEP — AEP — EKP — MEP*. 2005, Springer: Heidelberg. p. 2-19.
82. Stöhr, M., M. Wagner, K. Pfadenhauer, et al., *Neuromonitoring: Vorbemerkungen*. 1999, Steinkopff: Darmstadt. p. 299-355.

83. Stöhr, M., W. Wagner, K. Pfadenhauer, et al., Neuromonitoring: Exogene und endogene Einflüsse auf neurophysiologische Parameter. 1999, Steinkopff: Darmstadt. p. 149-157.
84. Sutter, M., A. Eggspuehler, D. Grob, et al., The diagnostic value of multimodal intraoperative monitoring (MIOM) during spine surgery: a prospective study of 1,017 patients. *Eur Spine J*, 2007. 16 Suppl 2: p. 162-170.
85. Sutter, M., A. Eggspuehler, D. Jeszenszky, et al., The impact and value of uni- and multimodal intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) on neurological complications during spine surgery: a prospective study of 2728 patients. *Eur Spine J*, 2019. 28(3): p. 599-610.
86. Szelényi, A., A. Bueno de Camargo and V. Deletis, Neurophysiological evaluation of the corticospinal tract by D-wave recordings in young children. *Childs Nerv Syst*, 2003. 19(1): p. 30-34.
87. Szelényi, A., K.F. Kothbauer and V. Deletis, Transcranial electric stimulation for intraoperative motor evoked potential monitoring: Stimulation parameters and electrode montages. *Clin Neurophysiol*, 2007. 118(7): p. 1586-1595.
88. Tabaraud, F., J.M. Boulesteix, D. Moulies, et al., Monitoring of the motor pathway during spinal surgery. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1993. 18(5): p. 546-550.
89. Tamaki, T. and T. Yamane, Proceedings: Clinical utilization of the evoked spinal cord action potential in spine and spinal cord surgery. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1975. 39(5): p. 539.
90. Tamkus, A., K.S. Rice and H.L. Kim, Intraoperative neuromonitoring alarms: relationship of the surgeon's decision to intervene (or not) and clinical outcomes in a subset of spinal surgical patients with a new postoperative neurological deficit. *Neurodiagn J*, 2017. 57(4): p. 276-287.
91. Tamkus, A.A., K.S. Rice and H.L. Kim, Differential rates of false-positive findings in transcranial electric motor evoked potential monitoring when using inhalational anesthesia versus total intravenous anesthesia during spine surgeries. *The Spine Journal*, 2014. 14(8): p. 1440-1446.
92. Taskiran, E., S. Brandmeier, E. Ozek, et al., Multimodal intraoperative neurophysiological monitoring in spinal cord surgery. *Turk Neurosurg*, 2017. 27(3): p. 436-440.

93. Ulkatan, S., A.M. Jaramillo, M.J. Tellez, et al., Incidence of intraoperative seizures during motor evoked potential monitoring in a large cohort of patients undergoing different surgical procedures. *J Neurosurg*, 2017. 126(4): p. 1296-1302.
94. Walbert, J.R. and J.L. Ahn-Ewing, ABRET: a historical review building the future on a strong foundation. *American Journal of Electroneurodiagnostic Technology*, 2009. 49(2): p. 162-171.
95. Wang, S., Y. Yang, Q. Li, et al., High-risk surgical maneuvers for impending true-positive intraoperative neurologic monitoring alerts: experience in 3139 consecutive spine surgeries. *World Neurosurg*, 2018. 115: p. 738-747.
96. Weiss, D.S., Spinal cord and nerve root monitoring during surgical treatment of lumbar stenosis. *Clin Orthop Relat Res*, 2001(384): p. 82-100.
97. Wiedemayer, H., I.E. Sandalcioglu, W. Armbruster, et al., False negative findings in intraoperative SEP monitoring: analysis of 658 consecutive neurosurgical cases and review of published reports. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2004. 75(2): p. 280-286.
98. Yang, J., D.L. Skaggs, P. Chan, et al., Raising mean arterial pressure alone restores 20% of intraoperative neuromonitoring losses. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2017: p. 890-894.
99. Zhuang, Q., S. Wang, J. Zhang, et al., How to make the best use of intraoperative motor evoked potential monitoring? Experience in 1162 consecutive spinal deformity surgical procedures. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2014. 39(24): p. 1425-1432.
100. Zuccaro, M., J. Zuccaro, A.F. Samdani, et al., Intraoperative neuromonitoring alerts in a pediatric deformity center. *Neurosurg Focus*, 2017. 43(4): p. 8.

8 Anhang

8.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Grundrhythmen des EEG [3]	11
Abb. 2: Verteilung der Elektroden nach dem internationalen 10-20 System [2]	12
Abb. 3: Verteilung der Fragebögen auf die Länder und Fachabteilungen	28
Abb. 4: Verteilung der Umfrage auf die Länder und topographische Lage	35
Abb. 5: Verteilung der Umfrage auf die Versorgungsstufen und Fachabteilungen.....	36
Abb. 6: Rücklaufquote nach Land und topographischer Lage	37
Abb. 7: Rücklaufquote nach Versorgungsstufe und Fachabteilung	38
Abb. 8: Grundsätzliche Anwendung der IONM-Modalitäten.....	42
Abb. 9: Anwendung der IONM-Modalitäten hinsichtlich der Operationshöhe.....	44
Abb. 10: Anzahl der spinalen Eingriffe pro Jahr in Bezug auf das Gesamtkollektiv	45
Abb. 11: Anzahl der spinalen Eingriffe pro Jahr in der Neurochirurgie	46
Abb. 12: Anzahl der spinalen Eingriffe pro Jahr in der Orthopädie und Unfallchirurgie	46
Abb. 13: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „Degeneration“ in Bezug auf das Gesamtkollektiv.....	48
Abb. 14: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „Degeneration“ in der Neurochirurgie.....	49
Abb. 15: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „Degeneration“ in der Orthopädie und Unfallchirurgie	49
Abb. 16: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „Trauma“ in Bezug auf das Gesamtkollektiv.....	51
Abb. 17: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „Trauma“ in der Neurochirurgie	52
Abb. 18: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „Trauma“ in der Orthopädie und Unfallchirurgie	52

Abb. 19: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „skoliotische Veränderungen“ in Bezug auf das Gesamtkollektiv	54
Abb. 20: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „skoliotische Veränderungen“ in der Neurochirurgie	55
Abb. 21: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „skoliotische Veränderungen“ in der Orthopädie und Unfallchirurgie	55
Abb. 22: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „ossär-extradurale Raumforderungen“ in Bezug auf das Gesamtkollektiv	57
Abb. 23: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „ossär-extradurale Raumforderungen“ in der Neurochirurgie	58
Abb. 24: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „ossär-extradurale Raumforderungen“ in der Orthopädie und Unfallchirurgie	58
Abb. 25: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „intradurale Raumforderungen“ in Bezug auf das Gesamtkollektiv	59
Abb. 26: Anzahl der spinalen Eingriffe der Kategorie „intramedulläre Raumforderungen“ in Bezug auf das Gesamtkollektiv	59
Abb. 27: Unverzichtbarkeit der IONM-Anwendung	64
Abb. 28: Verantwortliches Personal für die technische Durchführung, Überwachung und Interpretation des IONM	67
Abb. 29: Allgemeine Zufriedenheit mit der technischen Durchführung, Überwachung und Interpretation des IONM	74

8.2 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Warnkriterien nach Literatur	18
Tab. 2: Stärken (+) und Schwächen (-) der IONM-Modalitäten.....	19
Tab. 3: Fragenkatalog der Umfrage	30
Tab. 4: Verteilung der Umfragen und Rücklaufquoten der einzelnen Länder	39
Tab. 5: Anwendung des IONM in Deutschland, Österreich und der Schweiz.....	41
Tab. 6: Jährliche Fallzahlen spinaler Operationen und die quantitative IONM-Anwendung.....	47
Tab. 7: Jährliche Fallzahlen spinaler Operationen der Kategorie „Degeneration“ und die quantitative IONM-Anwendung	50
Tab. 8: Jährliche Fallzahlen spinaler Operationen der Kategorie „Trauma“ und die quantitative IONM-Anwendung	53
Tab. 9: Jährliche Fallzahlen spinaler Operationen der Kategorie „skoliotische Veränderungen“ und die quantitative IONM-Anwendung.....	56
Tab. 10: Jährliche Fallzahlen spinaler Operationen der Kategorie „ossär-extradurale Raumforderungen“ und die quantitative IONM-Anwendung.....	60
Tab. 11: Jährliche Fallzahlen spinaler Operationen der Kategorie „intraduraler Raumforderungen“ und die quantitative IONM-Anwendung.....	61
Tab. 12: Jährliche Fallzahlen spinaler Operationen der Kategorie „intramedullärer Raumforderungen“ und die quantitative IONM-Anwendung.....	62
Tab. 13: Personalauswahl für die IONM-Anwendung im Vergleich zwischen den Fachbereichen.....	69
Tab. 14: Personalauswahl für die IONM-Anwendung im Vergleich zwischen den Versorgungsstufen.....	70
Tab. 15: Personalzuständigkeit für die IONM-Anwendung im Ländervergleich	72

9 Danksagung

Ich möchte mich ganz herzlich bei meiner Doktormutter, Frau Prof. Dr. med. Szelényi, für die Bereitstellung des Themas, die hilfreichen Korrekturen und den stetigen Austausch bedanken.

Meinem Betreuer, Herrn Dr. med. Siller, danke ich für seine großartige Unterstützung und die Bereitschaft, mir jederzeit bei meinen Fragestellungen weiter zu helfen. Auch am Wochenende und im Urlaub war er stets für mich da und hat immer rasch auf Fragen reagiert.

Auch dem Team der IT und der Neurochirurgie danke ich für die Hilfe bei der Erstellung der Onlineumfrage, die Überprüfung und dem Testlaufes des Fragebogens.

Einen ganz besonderen Dank möchte ich meinen Eltern Myriam und Hans-Peter, meiner Schwester Nicole, meinem Schwager Rainer und meinen Freunden aussprechen. Sie haben mich nicht nur beim Erstellen dieser Doktorarbeit uneingeschränkt unterstützt, sondern waren zu jedem Zeitpunkt des Studiums immer für mich da. Ihnen schreibe ich einen großen Anteil am erfolgreichen Gelingen meines Werdegangs zu und danke Ihnen hierfür von ganzem Herzen.

Eidesstaatliche Versicherung

Gemäß der Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der LMU München

Constance Raith

Ich erkläre hiermit an Eides statt,
dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel

**Die Anwendung des spinalen intraoperativen neurophysiologischen Monitorings
in Deutschland, Österreich und der deutschsprachigen Schweiz
- Eine Querschnittsstudie -**

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Notzing, den 03.08.2021

Constance Raith