

Aus der Universitätsklinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie  
der Medizinischen Fakultät  
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Veränderung der somatisch evozierten Potentiale  
des Nervus ulnaris und Nervus radialis vor und nach axillärer Regionalanästhesie des  
Plexus brachialis

**Dissertation**

Zur Erlangung des Doktorgrades

Dr.med.

(doctor medicinae)

an der Medizinischen Fakultät  
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Vorgelegt von  
aus  
Magdeburg

Henriette Wagner  
Greifswald  
2012

# Dokumentationsblatt

## Bibliographische Beschreibung

Wagner, Henriette:

Veränderung der somatisch evozierten Potentiale des *Nervus ulnaris* und *Nervus radialis* vor und nach axillärer Regionalanästhesie des *Plexus brachialis*

2012.-71 Bl., 44 Abb., 10 Tab.

## Kurzreferat

Die Regionalanästhesie gewann in den vergangenen Jahren sowohl im operativen als auch im schmerztherapeutischen Bereich eine zunehmend höhere Bedeutung.

In Abhängigkeit von der jeweiligen Methode beträgt ihre Versagerquote jedoch weiterhin bis zu 20 %. Die Prädiktion einer adäquaten Analgesie ist daher bei der Regionalanästhesie sehr wichtig. Untersuchungen zur Effektivität elektrophysiologischer Verfahren zur frühen Detektion unwirksamer Plexusblockaden sind jedoch bisher noch ausstehend.

In der folgenden Studie wurde daher der prädikative Wert von somatisch evozierten Potenzialen (SEP) am Modell der axillären Regionalanästhesie des *Plexus (Pl.) brachialis* untersucht. Dazu wurden zunächst an 30 freiwilligen Probanden nach Stimulation des *Nervus (N.) ulnaris* sowie des *N. radialis* SEP des *Pl. brachialis* abgeleitet und eine Referenzkurve erstellt. Ferner wurden bei 40 Patienten, die unter axillärer Blockade des *Pl. brachialis* operiert wurden, SEP vor sowie jeweils 10, 20 und 30 Minuten nach Anlage der Regionalanästhesie abgeleitet. Diese Ergebnisse wurden den standardisierten klinischen Parametern zur Beurteilung einer Plexusblockade, wie z.B. der Pricktest und die Temperaturdifferenzierung, gegenübergestellt. Die präoperativ erhobenen Ausgangswerte, Latenzveränderungen der SEP sowie die klinischen Parameter wurden statistisch auf eine mögliche Korrelation mit der Wirkung der Plexusblockade untersucht. Sowohl bei den klinischen Parametern als auch den registrierten SEP lagen 20 Minuten nach Blockade des *Plexus brachialis* signifikante Veränderungen vor. Die SEP-Veränderungen stellten sich zwar typisch für eine Plexusblockade dar, eine sichere Aussage über deren Wirksamkeit konnte jedoch zeitlich nicht vor Ausprägung der klinischen Veränderungen getroffen werden. Zusammengefasst konnte weder ein zeitlicher Vorteil noch ein Effizienzgewinn durch die SEP-Messung gewonnen werden.

Ergänzend wurde die Erstellung einer Referenzkurve für den *N. radialis* und *N. ulnaris* als feststehenden Ausgangswert untersucht. Die Probanden- und Patientengruppe waren aufgrund vorhandener SEP beeinflussender biometrischer und klinischer Faktoren jedoch nicht vergleichbar, eine abschließende Aussage konnte daher anhand der erhobenen Daten für diesen Fall nicht getroffen werden. Um SEP zur Beurteilung der axillären Plexusblockade anwenden zu können, wäre daher jeweils die Erstellung einer individuellen Basis-SEP-Kurve notwendig. Dies potenziert jedoch den zeitlichen Aufwand der SEP-Messung und begrenzt deren klinisch sinnvolle Einsetzbarkeit als diagnostisches Mittel.

## Inhaltsverzeichnis

Dokumentationsblatt

Kurzreferat

Inhaltsverzeichnis

<b>1 Verzeichnisse</b> .....	5
1.1 Abkürzungsverzeichnis .....	5
1.2 Abbildungsverzeichnis .....	6
1.3 Tabellenverzeichnis .....	7
<b>2 Einleitung</b> .....	8
<b>3 Fragestellung dieser Arbeit</b> .....	10
<b>4 Material und Methoden</b> .....	11
4.1 Patientenauswahl/ Probandenauswahl .....	11
4.1.1 Einschlusskriterien .....	11
4.1.2 Ausschlusskriterien .....	11
4.2 Anästhesieverfahren .....	11
4.3 Somatisch evozierte Potentiale (SEP) .....	13
4.3.1 Verarbeitung der SEP .....	15
4.3.2 Ableitung der SEP .....	15
4.3.3 Ableitorte bei Stimulation des <i>N. ulnaris</i> und <i>N. radialis</i> .....	16
4.3.4 Ableitung von SEP nach Armnervenstimulation .....	16
4.4 Monitoring .....	20
4.5 Klinische Überprüfung der Regionalanästhesie .....	20
4.5.1 Testung der Motorik .....	20
4.5.2 Testung der Sensibilität .....	21
4.6 Statistik .....	23
<b>5 Ergebnisse</b> .....	24
5.1 Probandendaten .....	24
5.2 Patientendaten .....	24
5.3 Vergleich der biometrischen Daten .....	25

5.4 SEP-Ausgangswerte .....	26
5.5 Korrelation biometrischer Daten mit präoperativen SEP .....	30
5.6 Veränderungen der SEP in Abhängigkeit von der Blockadedauer.....	31
5.7 Korrelation der klinischen Veränderungen mit den Veränderungen der Latenz .....	33
5.8 Unterschiede in der Latenzverlängerung in Abhängigkeit von der klinisch eruierten Blockadequalität .....	38
<b>6 Diskussion</b> .....	<b>41</b>
6.1 Regionalanästhesie der oberen Extremität .....	41
6.2 Anatomie des <i>Plexus brachialis</i> .....	42
6.3 Indikationen und Kontraindikationen der axillären Plexusblockade.....	43
6.4 Etablierung der peripheren Nervenstimulation (PNS).....	46
6.5 Somatisch evozierte Potentiale (SEP) .....	48
6.6 Zielstellung .....	49
6.7 Veränderungen der SEP unter Regionalanästhesie .....	50
6.8 Korrelation klinischer Veränderungen mit den Veränderungen der Latenzen...	50
6.9 Latenzveränderungen in Abhängigkeit von der Blockadequalität .....	52
6.10 Erarbeitung einer Referenzkurve und Radialislücke .....	53
6.11 Klinische Relevanz und Prozessablauf.....	55
6.12 Schlussfolgerung und Ausblick .....	56
<b>7 Zusammenfassung</b> .....	<b>59</b>
<b>8 Anhang</b> .....	<b>60</b>
8.1 Literaturverzeichnis .....	60
8.2 Danksagung .....	66
8.3 Erklärung .....	68

# 1 Verzeichnisse

## 1.1 Abkürzungsverzeichnis

A.	Arterie
AB	axilläre Blockade
bzw.	beziehungsweise
ca.	zirka, ungefähr
cm	Zentimeter
d.	der, die, das
et al.	Et alii (und andere)
EEG	Elektroenzephalogramm
EKG	Elektrokardiogramm
HWK	Halswirbelkörper
Hz	Hertz
IVRA	intravenöse Regionalanästhesie
LA	Lokalanästhetikum
ml	Milliliter
min	Minuten(n)
M.	Musculus
MD	Mittelwert
N./Nn.	Nervus/Nervi
Ncl.	Nukleus
p.o.	Per os
Pl.	Plexus
Proc.	Processus
PNS	periphere Nervenstimulation
R./Rr.	Ramus/ Rami
SD	Standardabweichung
SEP	Somatisch evozierte Potentiale
Tr.	Truncus
u.	und
V./Vv.	Vena/ Venae
Vs.	Versus

## 1.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 axilläre Plexusblockade .....	12
Abb. 2 Spezifisches ( <i>lemniskales</i> ) somatotensibles System.....	14
Abb. 3 Internationales 10-20-System der Elektrodenplatzierung aus Jasper .....	16
Abb. 4 Latenz und Amplitudennormwerte nach Stimulation des <i>N. ulnaris</i> .....	17
Abb. 5 SEP <i>N. ulnaris</i> links vor Blockade .....	18
Abb. 6 SEP <i>N. ulnaris</i> rechts vor Blockade .....	18
Abb. 7 SEP <i>N. ulnaris</i> links 10 min. nach Blockade.....	18
Abb. 8 SEP <i>N. ulnaris</i> rechts 10 min. nach Blockade.....	18
Abb. 9 SEP <i>N. ulnaris</i> links 20 min. nach Blockade.....	18
Abb. 10 SEP <i>N. ulnaris</i> rechts 20 min. nach Blockade.....	18
Abb. 11 SEP <i>N. ulnaris</i> links OP Freigabe.....	18
Abb. 12 SEP <i>N. ulnaris</i> rechts OP Freigabe.....	18
Abb. 13 SEP <i>N. radialis</i> links vor Blockade .....	19
Abb. 14 SEP <i>N. radialis</i> rechts vor Blockade .....	19
Abb. 15 SEP <i>N. radialis</i> links 10 min. nach Blockade.....	19
Abb. 16 SEP <i>N. radialis</i> rechts 10 min. nach Blockade.....	19
Abb. 17 SEP <i>N. radialis</i> links 20 min. nach Blockade.....	19
Abb. 18 SEP <i>N. radialis</i> rechts 20 min. nach Blockade.....	19
Abb. 19 SEP <i>N. radialis</i> links 10 min. nach Blockade.....	19
Abb. 20 SEP <i>N. radialis</i> rechts 10 min. nach Blockade.....	19
Abb. 21 Dokumentationsblatt zur Erhebung der klinischen Parameter .....	22
Abb. 22 Vergleich Alter, Gewicht, Größe; Die Patienten- und die Probandengruppe unterschieden sich hinsichtlich Gewicht und Alter .....	25
Abb. 23 SEP-Ausgangswerte <i>N. radialis</i> rechts.....	26
Abb. 24 SEP-Ausgangswerte <i>N. ulnaris</i> rechts .....	26
Abb. 25 SEP-Ausgangswerte <i>N. radialis</i> links .....	27
Abb. 26 SEP-Ausgangswerte <i>N. ulnaris</i> links.....	27
Abb. 27 Mittelwerte <i>N. radialis</i> links Patienten, P9 - nur ein Wert auswertbar .....	31
Abb. 28 Mittelwerte <i>N. radialis</i> rechts Patienten, P9 - kein Wert messbar.....	32
Abb. 29 Mittelwerte <i>N. ulnaris</i> links Patienten .....	32
Abb. 30 Mittelwerte <i>N. ulnaris</i> rechts Patienten P9 - Nur ein Wert auswertbar .....	33
Abb. 31 Finger-Nase-Versuch.....	34
Abb. 32 Armstreckung .....	34

Abb. 33 Faustschluss .....	35
Abb. 34 Tastempfinden .....	35
Abb. 35 PinPrick .....	36
Abb. 36 Temperaturempfinden.....	37
Abb. 37 Vergleich Mittelwert (MD) und Standardabweichung (SD) bei unterschiedlichem Blockadeerfolg <i>N. radialis</i> links .....	38
Abb. 38 Vergleich MD und SD bei unterschiedlichem Blockadeerfolg <i>N. radialis</i> rechts .....	38
Abb. 39 Vergleich MD und SD bei unterschiedlichem Blockadeerfolg <i>N. ulnaris</i> links .....	39
Abb. 40 Vergleich MD und SD bei unterschiedlichem Blockadeerfolg <i>N. ulnaris</i> rechts .....	39
Abb. 41 Lage und Benennung der <i>Fasciculi</i> in Beziehung zur <i>A. axillaris</i> .....	42
Abb. 42 Nervenstimulator Stimuplex HNS 11 (Firma B. Braun Melsungen) .....	46
Abb. 43 Stimulationsskanülen Stimuplex D .....	47
Abb. 44 Ultraschallanatomie des axillären <i>Plexus brachii</i> .....	57

### 1.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Biometrische Probandendaten - Mittelwert (Standardabweichung) .....	24
Tab. 2 Biometrische Patientendaten - Mittelwert (Standardabweichung).....	24
Tab. 3 Test bei unabhängigen Stichproben .....	25
Tab. 4 Levene-Test der Varianzgleichheit .....	29
Tab. 5 Signifikanzen der Fehlerabweichungen .....	30
Tab. 6 Signifikanzen der Fehlerabweichung der Ausgangswerte in Abhängigkeit vom Alter.....	30
Tab. 7 Signifikanzen der Fehlerabweichung der Ausgangswerte in Abhängigkeit vom Gewicht .....	30
Tab. 8 Signifikanzen der Fehlerabweichung der Ausgangswerte in Abhängigkeit der Gruppe .....	31
Tab. 9 Latenz-Mittelwerte (in msec.) und Signifikanz - Vergleich der Blockdauer ....	33
Tab. 10 Latenz-Mittelwerte (in msec.) und Signifikanz - Vergleich der Blockqualität.....	40



## 2 Einleitung

Fast 30 % aller operativen Eingriffe in Deutschland werden unter einem Regionalanästhesieverfahren durchgeführt.

Als positive Aspekte der Regionalanästhesieverfahren sind zu nennen:

1. eine suffiziente Schmerzausschaltung,
2. eine geringe systemische Belastung der Patienten durch die Lokalanästhetika sowie
3. die Aufrechterhaltung stabiler Herz-Kreislauf- und Atmungsverhältnisse.

Risikopatienten mit kardiopulmonalen Leiden, Stoffwechselerkrankungen oder Niereninsuffizienz profitieren daher von der Regionalanästhesie. Die postoperative Mortalität und Morbidität sind verringert [12]. In Abhängigkeit vom jeweils verwendeten Lokalanästhetikum und dem Regionalanästhesieverfahren kann eine Schmerzausschaltung von bis zu sieben Stunden erzielt werden.

Darüber hinaus bietet die Regionalanästhesie auch ökonomische Vorteile, was auf einer reduzierten Überwachungszeit, einer kürzeren Hospitalisierung und damit geringeren Kosten und Folgekosten beruht [1].

Als Nachteile sind der große Zeitaufwand bei der Vorbereitung und Realisierung des Verfahrens, das eventuelle Auftreten von frustrierten oder insuffizienten Blockaden, die dann eine Analgosedierung oder eine nachträgliche Allgemeinanästhesie erfordern, sowie mögliche neurologische Komplikationen zu nennen.

Bei einer vorgesehenen OP erfolgt die Auswahl des geeigneten Anästhesieverfahrens nach Größe und Lokalisation der zu behandelnden Erkrankung, den Begleitdiagnosen, möglichen Kontraindikationen und auch unter Berücksichtigung des Patientenwunsches bezüglich einer bestimmten Anästhesieform.

Eine unzureichende Analgesie unter Regionalanästhesie, die sogenannten „Versager“, tritt in 5 bis 20 % der Fälle auf. Die Ursache für die große Streubreite ist dabei sowohl in einer Abhängigkeit von der Technik als auch von der Erfahrung und dem Geschick des die Punktion durchführenden Anästhesisten zu suchen [22].

Als Standard bei der Regionalanästhesie des *Pl. brachialis* gilt die Elektrostimulationstechnik. Nach Identifizierung typischer anatomischer Orientierungspunkte wird durch Applikation eines elektrischen Impulses der jeweils zu blockierende Nerv erfasst, was auch als periphere Nervenstimulation (PNS) bezeichnet wird.

Wird ein Nerv mit motorischen und sensiblen Nervenfasern durch elektrische Impulse gereizt, ruft dies motorische Kontraktionen hervor, ohne dass der Patient schmerzhafte Parästhesien empfindet. Die Entfernung zwischen explorierender Nadel und Nerven kann an der erforderlichen Stromstärke abgeschätzt werden. Bei gerade sichtbaren Muskelkontraktionen im Bereich des Ausbreitungsgebietes des gesuchten Nervs (Kernmuskulatur) und einer Impulsamplitude von 0,3 mA (0,2 bis max. 0,5 mA) wird das Lokalanästhetikum unter wiederholter Aspiration gespritzt.

Für die Überprüfung der Blockadequalität stehen klinische Parameter zur Verfügung, der Finger-Nase-Versuch, das Temperaturempfinden, die Fähigkeit den Arm zu strecken, der Pin-Prick-Test, die Untersuchung des Tastempfindens und der Faustschluss.

### 3 Fragestellung dieser Arbeit

Eine Aussage über die Qualität der axillären Plexusblockade kann klinisch erst nach einer ca. 30-minütigen Wartezeit nach Applikation des Lokalanästhetikums oder endgültig zum Zeitpunkt des Hautschnitts getroffen werden. Eine frühere Objektivierung der Wirkung einer Regionalanästhesie des *Pl. brachialis* wäre daher von großem klinischem und praktischem Nutzen. Da Lokalanästhetika die Leitung elektrischer Impulse im peripheren Nerven passager unterbinden, lässt sich die Wirkung möglicherweise über die Bestimmung somatisch evozierter Potentiale erfassen.

Das erste Ziel der vorliegenden Studie war die Untersuchung, ob sich die SEP der oberen Extremität nach Regionalanästhesie ändern und wenn ja, ob anhand dieser Veränderungen auf die Blockadequalität rückgeschlossen werden kann.

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war die frühe Erkennung der Radialislücke, die bei axillären Zugangswegen regelmäßig auftritt. Der *N. radialis* wird häufig bei einer axillären Blockade des *Pl. brachialis* nicht erreicht. Da dieser im Handgelenksbereich ein rein sensibler Nerv ist, fehlt eine motorische Kontrollantwort, was die Ableitung der SEP erschwert. Mittels SEP-Messung an einer Probandengruppe sollte zunächst eine Referenzkurve erarbeitet werden, um dann anhand fehlender früher SEP-Veränderungen nach Blockade schnellstmöglich die Radialislücke zu erkennen.

In der vorliegenden Studie wurden folgende Hypothesen überprüft:

1. Die Wirkung einer Regionalanästhesie des *Pl. brachialis* kann über die Ableitung von SEP des *N. ulnaris* und *N. radialis* erfasst werden.
2. Die Veränderungen der SEP korrelieren mit klinischen Merkmalen der Regionalanästhesie.
3. Bei Regionalanästhesie des *Pl. brachialis* kann die klinische Wirkung durch Bestimmung der SEP vorhergesagt werden.

## 4 Material und Methoden

### 4.1 Patientenauswahl/ Probandenauswahl

Nach Votum durch die Ethikkommission (Registrierungsnummer der Ethikkommission: 80/2003) der medizinischen Fakultät an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg wurde die vorliegende Untersuchung als prospektive Kohorten-Studie durchgeführt. In die Studie wurden 30 gesunde Probanden sowie 40 Patienten eingeschlossen, die sich zwischen August und Dezember 2006 in der Klinik für Chirurgie der Otto-von-Guericke-Universität einer Operation der oberen Extremität unter Regionalanästhesie unterzogen haben.

#### 4.1.1 Einschlusskriterien

- Geschlecht : männlich/weiblich
- Rasse : kaukasisch
- Alter : ab 18 Jahren
- Patienten die sich auf Grund des Eingriffes und ihrer Vitalität für eine axilläre Blockade eignen und deren Einverständnis in diese Narkoseform vorliegen, einer schriftlichen Einverständniserklärung zur Teilnahme an dieser Studie

#### 4.1.2 Ausschlusskriterien

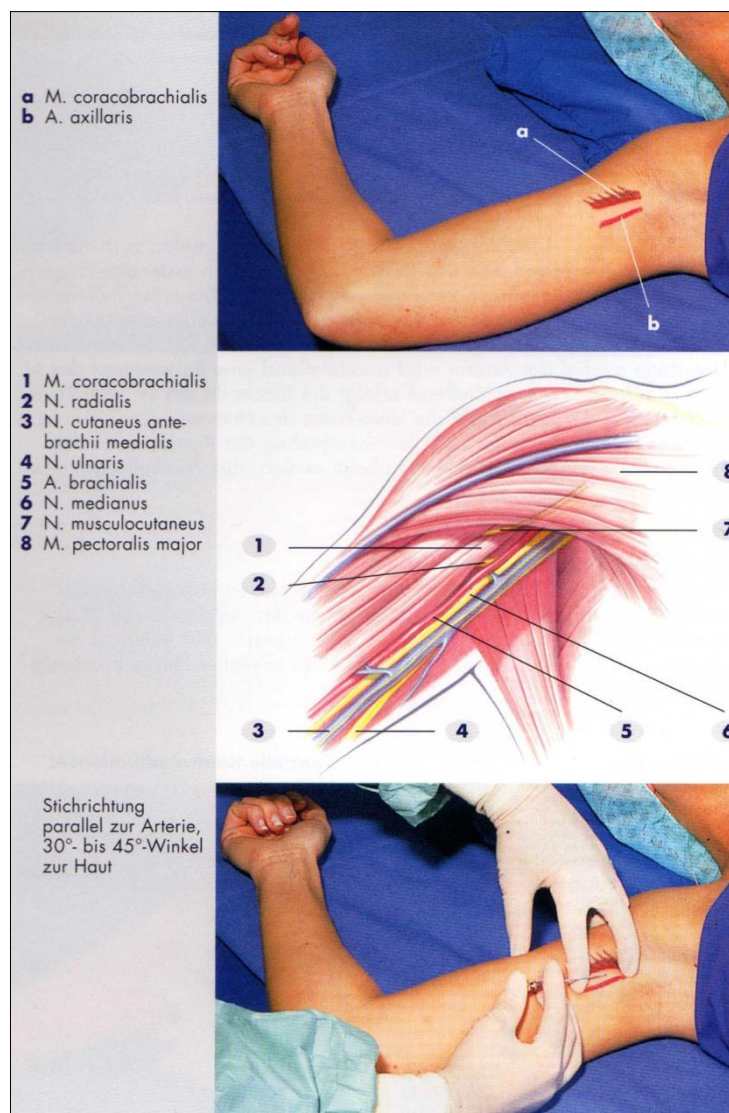
- Patienten mit Kontraindikationen gegen die Durchführung einer Regionalanästhesie des *Pl. brachialis*
- Patienten mit einer akuten allergischen Erkrankung
- Patienten mit einer gestörten Gerinnung
- akute Erkrankungen
- Medikamente, die das Studienergebnis beeinflussen
- Patienten mit mangelnder Bereitschaft zur Kooperation mit dem Studienleiter oder mangelndem Interesse an der Studie
- Patienten mit neurologischen Defiziten
- Patienten mit lokalen Infektionen

### 4.2 Anästhesieverfahren

Die Regionalanästhesie in der Patientengruppe wurde in Form einer axillären Blockade des *Pl. brachialis* durchgeführt. Es kam ausschließlich die perivaskuläre Technik nach Hirschel zur Anwendung [16].

Bei jedem Patienten wurde ein venöser Zugang angelegt und eine Basisüberwachung bestehend aus Elektrokardiogramm (EKG), nichtinvasivem Blutdruck und peripherer Sauerstoffsättigung angeschlossen. Der Patient befand sich in Rückenlage, der Arm wurde im Schultergelenk um ca. 90 Grad abduziert, außenrotiert und im Ellenbogengelenk um 90 Grad gebeugt. Vor Punktion wurde die Axilla nach üblichen hygienischen Richtlinien dreimal desinfiziert und anschließend mit einem sterilen Lochtuch abgedeckt.

Die Regionalanästhesie des *Pl. brachialis* erfolgte nach einem Standardverfahren mit Elektrostimulationstechnik (Abb. 1). Bei allen Patienten wurde ein Standardgemisch aus 20 ml Prilocain 1% (Xylonest 1%, Astra Zeneca) und 20 ml Ropivacain 0,75% (Naropin 7,5mg/ml, Astra Zeneca) verwendet.



**Abb. 1** axilläre Plexusblockade (Zeichnungen: Nikolaus Lechenbauer, Fotografien: Hartmut Rekort, Dr.med Gisela Meier)

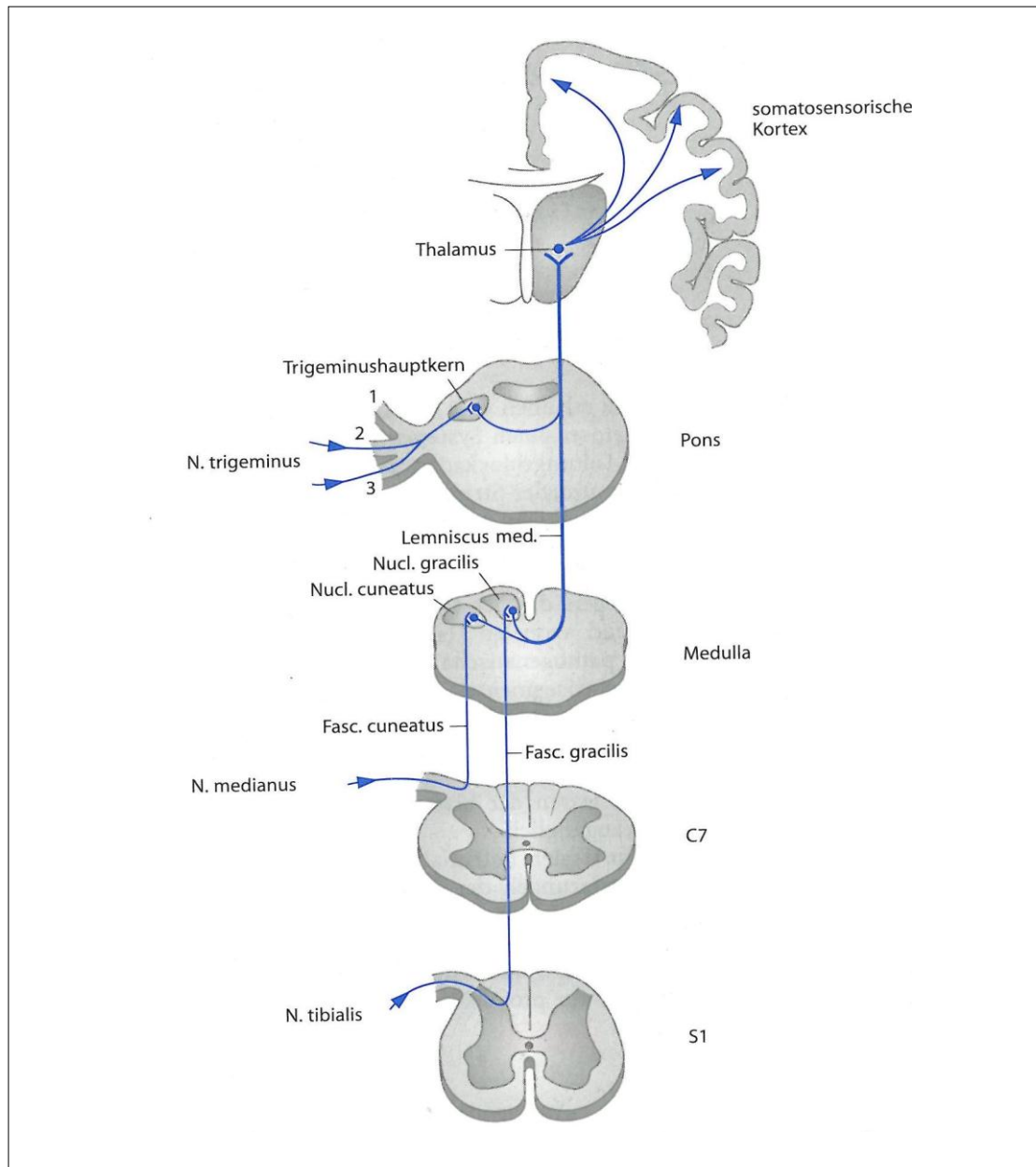
Die *A. axillaris* wurde mit der nicht nadelführenden Hand möglichst axillanah digital identifiziert, fixiert und nach Identifikation der Punktionsstelle die Cutis mit 1-2 ml Lidocain 1% infiltriert. Anschließend wurde die Punktionskanüle in einem Winkel von 30 Grad parallel zur Arterie nach proximal eingeführt. Die Kontrolle der Kanülenlage erfolgte mit Hilfe des Nervenstimulators. In dieser Studie kam als Punktionsnadel eine Kombinationsnadel für die hohe axilläre Plexusanästhesie 22G Unipolarkanüle (Firma Pajunk) mit Facettenschliff von 50 mm Länge durch Stimulation mit dem Nervenstimulator Stimuplex HNS11 (Firma B.Braun) zur Anwendung.

Erfolgte keine Reizantwort bei 1,0 mA so wurde durch leichtes Zurückziehen und Korrektur der Stichrichtung eine Kanülenlage gesucht, bei der sich eine Reizantwort eines der drei den Arm versorgenden Hauptnerven (*N.medianus*, *N.ulnaris*, *N.radialis*) erzielen ließ. Bei gerade sichtbaren Muskelkontraktionen im Bereich des Ausbreitungsgebietes des gesuchten Nervs (Kernmuskulatur) und einer Impulsamplitude von 0,3 mA (0,2 bis max. 0,5 mA) wurde das gesamte Lokalanästhetikum (20 ml Xylonest und 20 ml Naropin 7%) unter wiederholter Aspiration gespritzt und anschließend wird die Einstichstelle mit einem sterilen Pflaster abgeklebt. Die Entfernung zwischen der explorierenden Nadel und dem Nerven kann an der erforderlichen Stromstärke abgeschätzt werden. Ruft eine sehr geringe Stromstärke (0,2 mA) eine maximale Muskelkontraktion hervor, liegt die Nadel in unmittelbarer Nähe der Nerven. Eine Reizantwort des *N. musculocutaneus* zeigt eine außerhalb der Gefäß-Nerven-Scheide liegende Nadelspitze an, da dieser Nerv die Scheide schon eher verlässt.

#### **4.3 Somatisch evozierte Potentiale (SEP)**

Mittels SEP wird das *lemniskale* (spezifische) sensible System untersucht, das auf allen Ebenen (*spinal* und *zentral*) *somatotopisch* gegliedert ist. Bei der Stimulation werden vornehmlich dicke, unmyelinisierte Spinalganglienzellafferenzen der Gruppe 1 und 2 (Haut-, Muskel- und Gelenkrezeption) erregt. Die peripheren Fortsätze der Spinalganglienzellen gelangen als erstes sensibles Neuron über die Hinterhörner ins Rückenmark und ziehen ipsilateral zur Stimulationsseite als Rückenmarkshinterstränge bis zu den Hinterstrangkernen (*Nucleus (Ncl.) gracilis* und *Ncl. cuneatus*) in der *Medulla Oblongata*. Nach dortiger synaptischer Umschaltung ziehen sie im *Lemniskus medialis* zur Gegenseite und von dort zum ventrobasalen Thalamuskern. Dort beginnt das 3. Neuron, dessen Axone im *Tractus thalamocorticalis* v.a. die primärsensible Rinde im *Gyrus postcentralis* erreichen. Im lemniskalen System werden die spinalen und frühen kortikalen SEP-Gipfel generiert. Die kortikale Weiterverarbeitung der sensiblen Information

geschieht in den frontalen und parietalen Assoziationsfeldern, die nicht mehr bestimmten Körperregionen zugeordnet sind. Maximale Amplituden der Kortexantworten nach somatosensorischer Reizung zeigen die SEP über der kortikalen Projektionsregion des Reizpunktes. Sowohl die SEP nach Schmerz- und Temperaturreizung, als auch die SEP nach taktiler und mechanischer Stimulation (z.B. durch einen Luftstoß) haben bislang keine breite Verwendung in der klinischen Routinediagnostik gefunden.



**Abb. 2** Spezifisches (*lemniskales*) somatosensibles System. Schematische Übersicht über die Bahnen und Kerngebiete sowie über die somatosensiblen Rindenareale mit ihrer topischen Gliederung. (Modifiziert nach Stöhr 1996)

#### 4.3.1 Verarbeitung der SEP

Die gemessenen Signale werden verstärkt, um auswertbare Signalamplituden zu erhalten. Problem der Signalverstärkung sind die Störsignale. Verstärkte Eingangssignale werden daher derart gefiltert, dass später nur die typischen, interessierenden Signalanteile in die Erstellung der Mittelungsproben eingehen. Nach Signalverstärkung erfolgt in einem zweiten Schritt die Auftrennung der im Oberflächen-EEG versteckten evozierten Potenziale mittels *averaging*, wodurch die Störsignale herausgefiltert werden. Die elektrische Antwort des Gehirns auf einen identischen Reiz tritt immer im gleichen Zeitintervall nach der Reizung auf. Beim *averaging* werden die Reize bis zu 10.000-mal ausgelöst und anschließend der Mittelwert der Reizantwort gebildet. Die zufälligen Spannungsauslenkungen des Oberflächen-EEG werden ausgelöscht und die sich wiederholende Reizantwort in der EEG-Aktivität wird verstärkt dargestellt. Im Idealfall kommt so nur noch das evozierte Potenzial zur Darstellung. Die Filterung leistet somit einen erheblichen Beitrag zur rauscharmen störungsgeminderten Darstellung der evozierten Potenziale.

Heute werden meist kommerziell erhältliche Komplettsysteme bestehend aus Reizgeber, *Averager* und darstellendem Oszillographen eingesetzt.

#### 4.3.2 Ableitung der SEP

Zum Ableiten der SEP wurde der Neuropack M1 EMG/EP Messplatz MEB-920 der Firma NihonKohden verwendet.

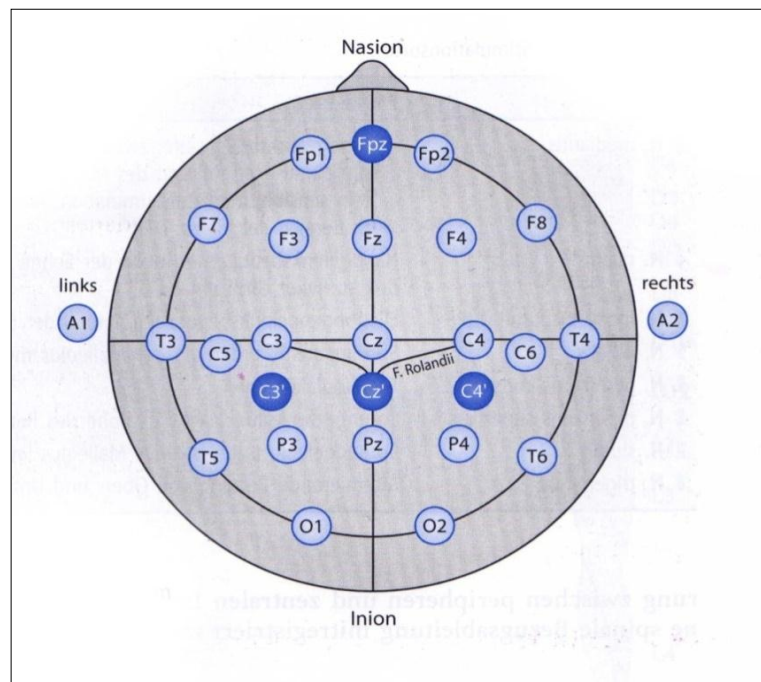
Die Ableitung erfolgte in einem ruhigen, möglichst elektrisch abgeschirmten Raum, dessen Temperatur über 22 °C lag, um ein Kältezittern der Muskulatur zu vermeiden. Die Untersuchung erfolgt in Rückenlage des Patienten. Zur Ableitung der SEP kamen ausschließlich Oberflächenelektroden zum Einsatz. Zur Senkung des Hautwiderstandes wurde die Haut am Ableitort mit einer Schmirgelpaste enthornt, zur besseren Elektrodenhaftung wurde ein Gel aufgetragen. Die Reizelektrode wurde exakt längsparallel über dem Nervenstamm mit proximaler Lage der Kathode aufgesetzt. Die Erdelektrode sollte, falls es die Ableitbedingungen zulassen, zwischen der Stimulations- und Ableit-elektrode fixiert werden, um die Reizartefakte zu minimieren. Bei sensiblen Nerven wählt man als Reizstärke den dreifach sensiblen Schwellenwert. Die sensible Schwelle wird als Reizstärke definiert, bei der der Stromimpuls gerade wahrgenommen wird. Bei rein motorischen und gemischten Nerven liegt die Reizstärke bei 3 bis 4 mA über der motorischen Schwelle, das heißt in der Regel zwischen 5 bis 15 mA.



Die motorische Schwelle ist die Stimulationsstärke, bei der die erste Muskelkontraktion der von dem Nerven versorgten Muskulatur sichtbar wird. Zur Stimulation wurden 0,1 bis 0,2 ms dauernde Rechteckimpulse verwendet. Für die peripheren, spinalen und frühen kortikalen Impulse beträgt die gemeinsame Reizfolgefrequenz 3 bis 5 Hz.

#### 4.3.3 Ableitorte bei Stimulation des *N. ulnaris* und *N. radialis*

Sowohl bei der kortikalen als auch spinalen Potenzialregistrierung werden meist Oberflächenelektroden benutzt. Die kortikalen Arbeitspositionen (differente Elektroden)



**Abb. 3** Internationales 10-20-System der Elektrodenplatzierung aus Jasper

werden entsprechend dem internationalen 10-20-System für EEG Ableitungen ausgemessen. Die Skalp-Positionen liegen dabei 2 cm hinter den entsprechenden Markierungen des 10-20-Systems und somit weitgehend über dem *Gyrus postcentralis*, wo die primären kortikalen SEP-Anteile entstehen. Bei der Armstimulation wird jeweils über der kontralateralen Hemisphäre abgeleitet.

#### 4.3.4 Ableitung von SEP nach Armnervenstimulation

Grundsätzlich können SEP nach Nervenstamm- oder Dermatostimulation aller sensiblen oder gemischten Nerven der oberen Extremität abgeleitet werden. Am häufigsten wird allerdings wegen der guten Reproduzierbarkeit der *N. medianus* untersucht. Die Latenzen der übrigen Armnerven sind im Vergleich zum *N. medianus* bei distaler Stimulation in der Regel um 1-2 ms länger und die Amplituden etwas niedriger. Während

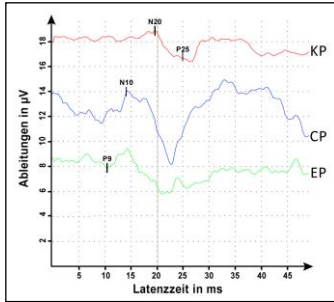
für die Routineableitung eine Zweikanalregistrierung mit spinalem und kortikalem Potentialabgriff genügt, ist bei speziellen Fragestellungen (z.B. kombinierte zentrale und periphere Läsionen, Wurzelkrankungen) eine Vierkanalregistrierung mit Ableitung über dem Erb-Punkt, dem Dornfortsatz vom Halswirbelkörper (HWK) 7 und HWK 2 sowie dem sensiblen Kortex nötig. Ist eine simultane Vierkanalregistrierung nicht möglich, wird zuerst über Erb und HWK 7 und danach über HWK 2 und Kortex abgeleitet. In der vorliegenden Studie wurden die Ableitpunkte P9, welcher dem Erbpotential entspricht, N10, der zervikale Potentiale widerspiegelt, sowie N20 und P25, die den kortikalen Potentialen entsprechen, genutzt [32].

	Erb Potential	N13a	N13b	N20
■ Latenz	11,2±1,3	14,4±1,5	14,6±1,5	20,6±1,9
■ Amplitude	2,2±1,3	1,6±0,8	1,6±0,8	1,6±0,9

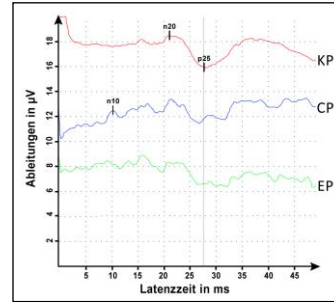
**Abb. 4** Latenz und Amplitudennormwerte nach Stimulation des *N. ulnaris* (Mittelwerte±-einfache Standardabweichung) (ms bzw.  $\mu\text{V}$ ), aus Praxis der evozierten Potentiale (Maurer, K. et al. 2005).

Das Erb-Potential nimmt eine Sonderstellung unter den Ableitpunkten ein. Nach Handgelenksstimulation des *N. medianus* kann es am Erb-Punkt 2 cm oberhalb der Schlüsselbeinmitte als triphasisches Potenzial mit initial positiver Auslenkung abgegriffen werden. Das Potenzial entsteht im *Pl. brachialis* und ist meist gut darstellbar. Die Latenzen werden am hohen negativen Hauptgipfel gemessen, wobei als oberer Latenzgrenzwert 12,4 ms und als Mittelwert 10,2 plus minus 0,88 ms. Die Latenz ist dabei stark von der Armlänge abhängig.

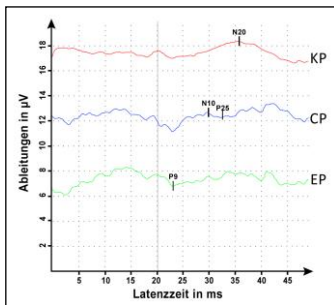
Die Amplitude wird als Differenz der Kurvenscheitelpunkte des positiven Vorgipfels und des negativen Hauptpeaks vermessen. Während der SEP-Ableitung ist zur Vermeidung methodischer Fehler auf eine körperparallele Lagerung der Arme zu achten, da sonst eine leichte Latenzverzögerung und Amplitudendepressionen der Plexuspotentiale auftreten könnten [32].



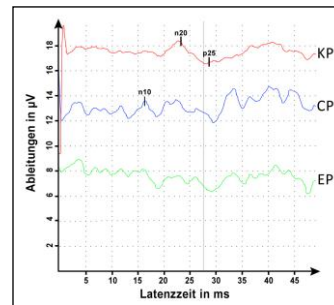
**Abb. 5** SEP *N. ulnaris* links vor Blockade (Erfolg gut)



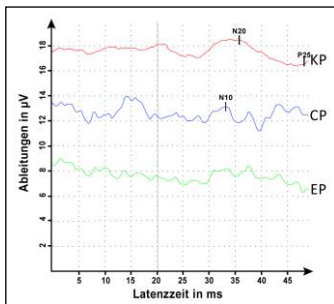
**Abb. 6** SEP *N. ulnaris* rechts vor Blockade (Erfolg unzureichend)



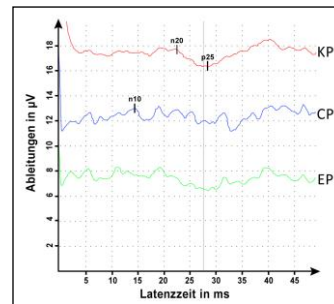
**Abb. 7** SEP *N. ulnaris* links 10 min. nach Blockade (Erfolg gut)



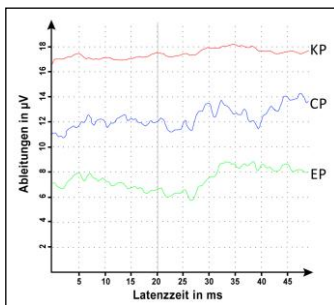
**Abb. 8** SEP *N. ulnaris* rechts 10 min. nach Blockade (Erfolg unzureichend)



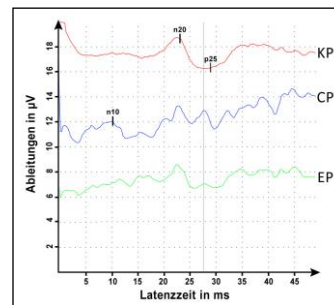
**Abb. 9** SEP *N. ulnaris* links 20 min. nach Blockade (Erfolg gut)



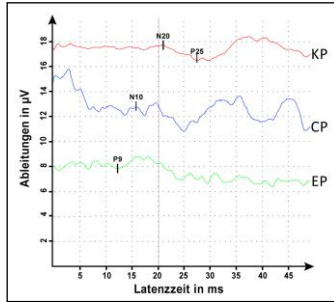
**Abb. 10** SEP *N. ulnaris* rechts 20 min. nach Blockade (Erfolg unzureichend)



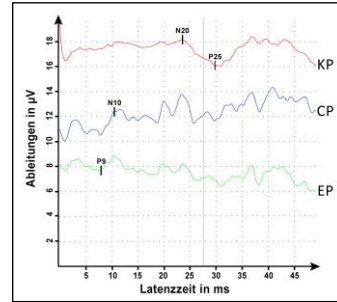
**Abb. 11** SEP *N. ulnaris* links OP Freigabe (Erfolg gut)



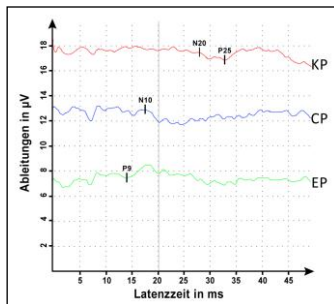
**Abb. 12** SEP *N. ulnaris* rechts OP Freigabe (Erfolg unzureichend)



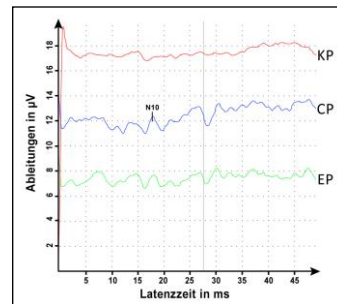
**Abb. 13** SEP *N. radialis* links vor Blockade (Erfolg gut)



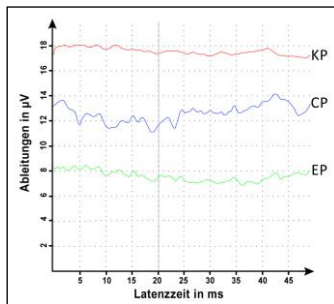
**Abb. 14** SEP *N. radialis* rechts vor Blockade (Erfolg unzureichend)



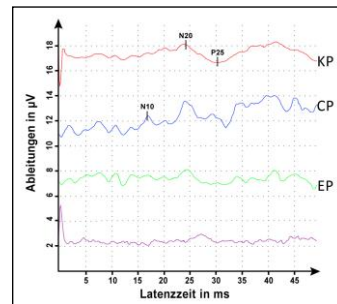
**Abb. 15** SEP *N. radialis* links 10 min. nach Blockade (Erfolg gut)



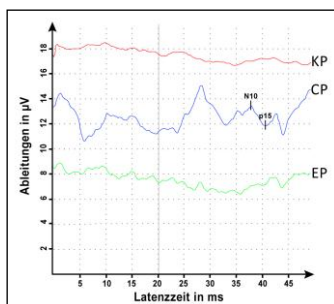
**Abb. 16** SEP *N. radialis* rechts 10 min. nach Blockade (Erfolg unzureichend)



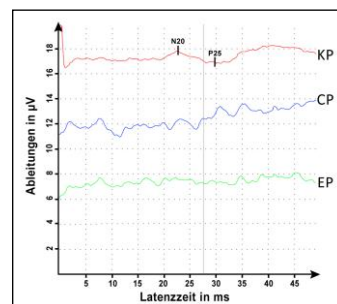
**Abb. 17** SEP *N. radialis* links 20 min. nach Blockade (Erfolg gut)



**Abb. 18** SEP *N. radialis* rechts 20 min. nach Blockade (Erfolg unzureichend)



**Abb. 19** SEP *N. radialis* links OP Freigabe (Erfolg gut)



**Abb. 20** SEP *N. radialis* rechts OP Freigabe (Erfolg unzureichend)

#### 4.4 Monitoring

In einer Studie an 30 freiwilligen Probanden wurden beidseits SEP der *Nn. ulnares* sowie der *Nn. radiales* abgeleitet und ausgewertet. Die Probanden wurden vor der Untersuchung über deren Ablauf detailliert aufgeklärt.

An 40 Patienten, die unter axillärer Blockade des *Pl. brachialis* operiert werden sollten, wurden ebenfalls SEP vor und nach Anlage der Regionalanästhesie abgeleitet und gleichzeitig klinisch-neurologische Untersuchungen der zu anästhesierenden Extremität erhoben. Die Patienten wurden am Vortag detailliert über die zusätzlichen Untersuchungen aufgeklärt und waren mit der Teilnahme an der Studie einverstanden. Nach zeitgerechter medikamentöser Prämedikation mit Midazolam p.o. (patientenadaptiert 3,75-7,5 mg) erfolgte die Übernahme des Patienten in den Operationssaal, wo nochmals die Kontrolle der paraklinischen Werte erfolgte. Das Basis-Monitoring, zu welchem Pulsoxymetrie, non-invasive Blutdrucküberwachung und das EKG gehören, wurde angeschlossen. Anschließend erfolgte an der kontralateralen Extremität die Anlage eines periphervenösen Zugangs. Die Haut-Klebe-Elektroden zur Ableitung der SEP wurden an den definierten und in Punkt 4.3.3 beschriebenen Orten platziert, wonach die Bestimmung der SEP-Ausgangswerte erfolgte.

#### 4.5 Klinische Überprüfung der Regionalanästhesie

Immer im Anschluss an die jeweiligen SEP-Messungen wurden die klinischen Parameter untersucht, deren Reihenfolge zu keiner Zeit geändert wurde.

##### 4.5.1 Testung der Motorik

Die Austestung der motorischen Blockade erfolgte für jeden Hauptnerven gesondert unter Berücksichtigung der jeweiligen Kennmuskeln:

- *N. medianus* Beugung der Finger und des Handgelenks;
- *N. ulnaris* Abspreizen der Finger;
- *N. radialis* Streckung im Handgelenk, Extension der Finger;
- *N. musculocutaneus* Beugung im Ellenbogengelenk.

Finger-Nase-Versuch:

Es wurden die Zielbewegungen der oberen Extremität als Koordinationstest überprüft. Der zu Untersuchende führte den Zeigefinger des zuvor ausgestreckten Armes in bogenförmiger Bewegung bei geschlossenen Augen zur Nasenspitze. Bei einer Läsion des *Pl. brachialis* oder einer Anästhesie ist durch Blockade des *N. musculocutaneus* eine zunehmende Hypometrie zu erwarten.

Armstreckung:

Der Patient sollte den im Ellenbogengelenk gebeugten Arm wieder strecken. Bei Blockade des Armplexus soll aufgrund einer *N. radialis*-Anästhesie eine Hypometrie auftreten.

Faustschluss:

Der Patient wurde gebeten, eine Faust zu machen zur Überprüfung der Kraft und motorischen Fähigkeiten.

#### 4.5.2 Testung der Sensibilität

Zur Überprüfung der sensiblen Blockade wurde jeweils ein Hautareal aus dem Bereich der *Area propria* der vier Hauptnerven des Armes untersucht:

- *N. medianus* die Palmarseite des Zeigefingers;
- *N. ulnaris* die Palmarseite des Kleinfingers;
- *N. musculocutaneus* die radiale Unterarmseite;
- *N. radialis* das Daumengrundglied.

Berührungsempfinden:

Es wurde getestet, ob und in welcher Form der Patient Berührungen empfindet.

Pin-Prick:

Dieser Test diente der Untersuchung der Veränderung der Schmerzempfindlichkeit und wurde zur Überprüfung der zentralen Reizbarkeit von A-Faser-Nociceptoren eingesetzt. Der Patient wurde einem definierten stumpfen oder spitzen Reiz ausgesetzt, den er wahrnehmen musste.

Temperatur:

Entsprechend der Reizqualität wurde zwischen Wärme und Kälte unterschieden.

Nach Dokumentation der Ausgangssituation wurde die Regionalanästhesie in der Patientengruppe durchgeführt. Zehn Minuten nach Anlage der axillären Blockade erfolgte die zweite Messung der SEP und klinische Untersuchung der motorischen, sensiblen und tiefen sensiblen Fähigkeiten der betroffenen Extremität. Die Ergebnisse wurden in einem Dokumentationsblatt (Abb. 21) festgehalten und nach Auswertung der SEP mit den Ergebnissen und der Blockadequalität der untersuchten Extremität ins Verhältnis gesetzt. Die gleichen Untersuchungen wurden noch einmal 20 Minuten nach Plexusblockade und zur OP-Freigabe wiederholt. Zum OP-Beginn wurde dokumentiert, ob die Plexusanästhesie ausreichend war oder ein zusätzliches Verfahren zur Analgesie notwendig wurde.

Eingriff:

Anlage der Regionalanästhesie:

1-unkompliziert                      2-schwierig                      3-unmöglich

Komplikationen:

Qualitätsbeurteilung:

Zeitpunkt	Finger-Nase-Versuch	Arm-streckung	Faust-schluss	Berührungs-empfinden	PinPrick	Temperatur-empfinden
0 - vor Punktion						
1 - 10min nach Injektion						
2 - 20min nach Injektion						
3 - Operations-freigabe						
4 - direkt postoperativ						
Besonderheiten Zusätzliche Medikation						
Sicher ++                      unsicher bzw. eingeschränkt +                      fehlt 0						

Abb. 21 Dokumentationsblatt zur Erhebung der klinischen Parameter

#### **4.6 Statistik**

Die erhobenen Daten aus dem SEP-Neuromonitoring des Neuropack M1 (Messplatz MEB-9200) der Firma NihonKohden wurden in eine Daten-Tabelle des Statistik-Programmes SPSS 11 für Windows (Statistical Package for the Social Sciences, Chicago, IL, USA) übertragen. Die Ergebnisse des klinischen Monitorings wurden ebenfalls in der SPSS-Datenbank erfasst.

Alle Daten wurden mittels Mann-Wilcoxon-Test oder U-Test auf Normalverteilung geprüft. Der Vergleich der Parameter der Blockademethode erfolgte mit dem Chi-Quadrat-Test und dem T-Test. Die Signifikanzen wurden tabellarisch aufgeführt. Ein Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  wurde als signifikant und ein  $p < 0,01$  als hochsignifikant angenommen.

Mittels Levene-Test und T-Test wurde untersucht, ob eine Vergleichbarkeit zwischen der Probanden- und der Patientengruppe gegeben ist. Die untersuchten Parameter waren Alter, Größe und Gewicht innerhalb der Gruppen. Ein möglicher Zusammenhang zwischen Alter, Größe und Gewicht und den unterschiedlichen Latenzen in den Gruppen wurden mit einer Varianzanalyse ermittelt. Die graphischen Darstellungen wurden mit EXCEL für WINDOWS© erzeugt und erfolgten entweder als Säulendiagramme oder als Boxplots.



## 5 Ergebnisse

### 5.1 Probandendaten

Anzahl	n = 30
Männlich	n = 14
Weiblich	n = 16
Alter (in Jahren)	26,9 ± 8,3
Größe (in cm)	173,6 ± 7,9
Gewicht (in kg)	68,4 ± 12,7

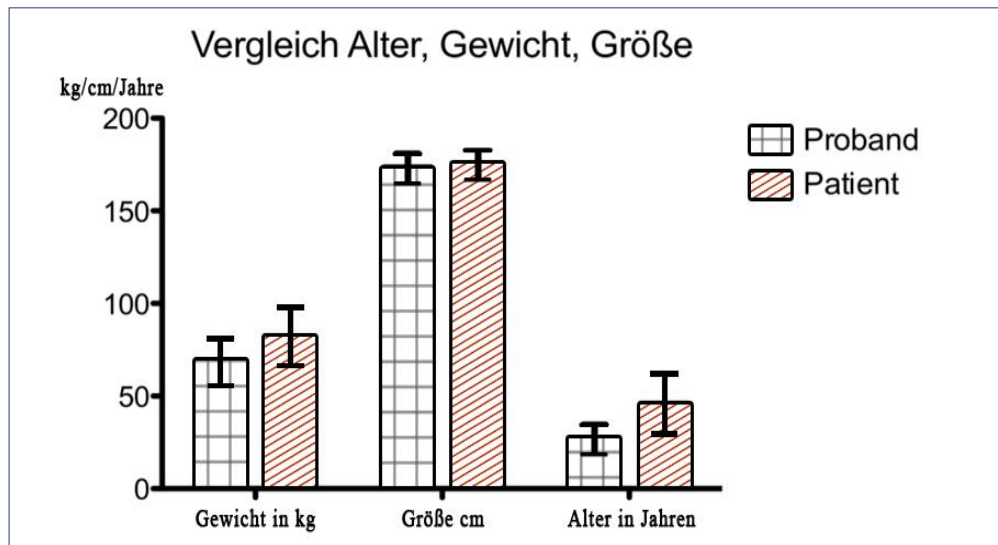
**Tab.1** Biometrische Probandendaten - Mittelwert (Standardabweichung)

### 5.2 Patientendaten

Anzahl	n = 40
Männlich	n = 27
Weiblich	n = 13
Alter (in Jahren)	45,9 ± 16,3
Größe (in cm)	174,3 ± 8,4
Gewicht (in kg)	82,2 ± 15,5

**Tab. 2** Biometrische Patientendaten - Mittelwert (Standardabweichung)

### 5.3 Vergleich der biometrischen Daten



**Abb. 22** Vergleich Alter, Gewicht, Größe; Die Patienten- und die Probandengruppe unterschieden sich hinsichtlich Gewicht und Alter.

	T-Test für die Mittelwertgleichheit			
	<i>T</i>	<i>Df</i>	<i>Sig.</i> (2- seitig)	<i>Mittlere</i> <i>Differenz</i>
<i>Alter</i> - Varianzen sind gleich	-5,851	68	0,000	-19,07500
Varianzen sind nicht gleich	-6,372	60,810	0,000	-19,07500
<i>Größe</i> - Varianzen sind gleich	-0,357	68	0,722	-0,70833
Varianzen sind nicht gleich	-0,360	64,591	0,720	-0,70833
<i>Gewicht</i> - Varianzen sind gleich	-3,968	68	0,000	-13,81667
Varianzen sind nicht gleich	-4,085	67,461	0,000	-13,81667

**Tab. 3** Test bei unabhängigen Stichproben

#### 5.4 SEP-Ausgangswerte

In der Probandengruppe wurden einmalig die SEP der *Nn. radiales* und *ulnares* beidseits abgeleitet. Die klinischen Tests zu Motorik und Sensorik ergaben innerhalb der Probandengruppe keine Einschränkungen.

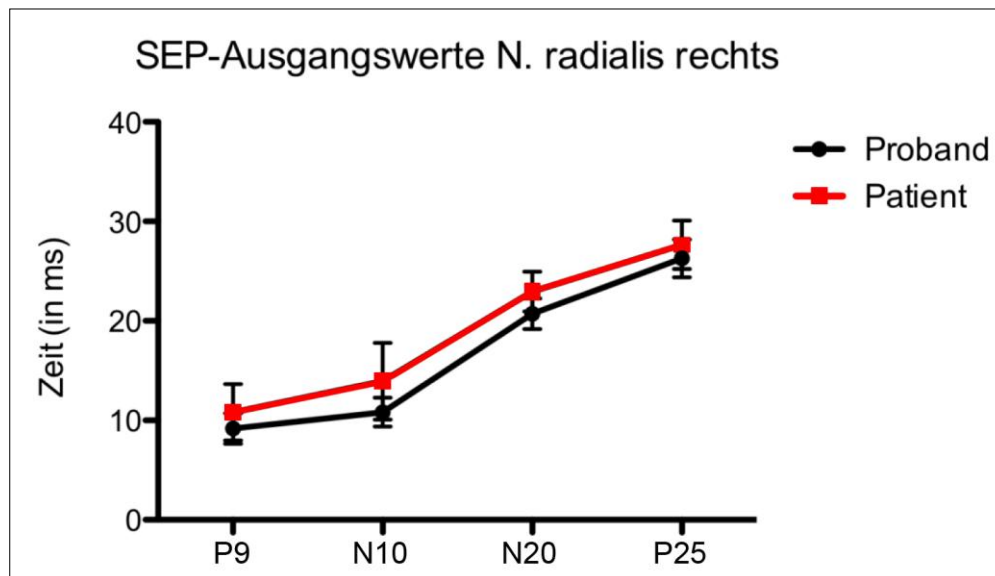


Abb. 23 SEP-Ausgangswerte *N. radialis* rechts

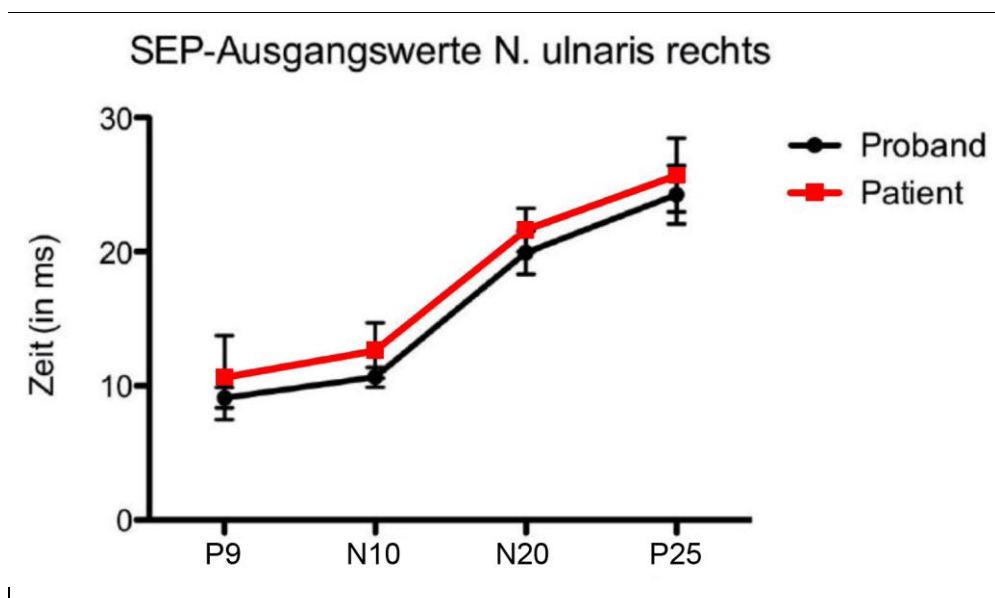


Abb. 24 SEP-Ausgangswerte *N. ulnaris* rechts

Die Ausgangswerte für den rechten Arm zeigten bei den Patienten eine längere Latenzzeit als bei den Probanden. Die Latenzzeit des *N. radialis* rechts (Abb. 23) war um 17,7 % ( $p < 0,01$ ) und die des *N. ulnaris* rechts (Abb. 24) um 16,5 % ( $p < 0,05$ ) erhöht.

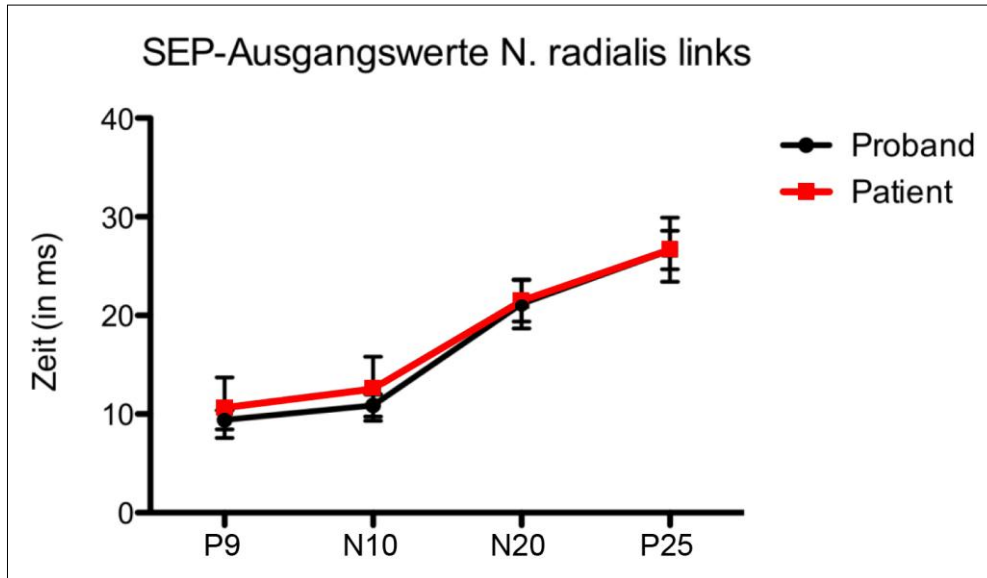


Abb. 25 SEP-Ausgangswerte *N. radialis* links

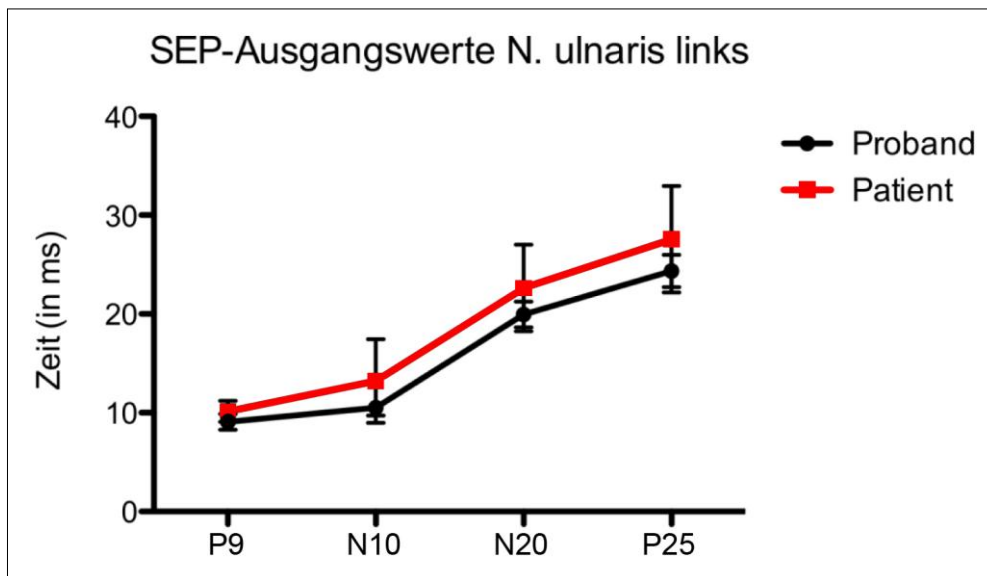


Abb. 26 SEP-Ausgangswerte *N. ulnaris* links

Am linken Arm war die Latenzzeit des *N. radialis* links (Abb. 25) in der Patientengruppe um 13,1 % ( $p > 0,1$ ) und die des *N. ulnaris* links (Abb. 26) um 11,7 % ( $p < 0,05$ ) verlängert.

		Levene-Test der Varianzgleichheit	
		F	Signifikanz
uliN20	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	7,383	0,009
uliP25	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	6,868	0,012
uliN10	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	8,002	0,007
uliP9	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	0,851	0,362
ureN20	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	0,310	0,580
ureP25	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	1,559	0,218
ureN10	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	13,123	0,001
ureP9	Varianzen sind gleich Varianzen sind nicht gleich	12,176	0,001

**Tab. 4** Levene-Test der Varianzgleichheit

Zusammenfassend wurden sowohl bei den SEP rechts als auch links signifikant längere Latenzzeiten der Patienten- gegenüber der Probandengruppe festgestellt. Zudem waren die SEP der rechten und linken oberen Extremität signifikant unterschiedlich.

### 5.5 Korrelation biometrischer Daten mit präoperativem SEP

In den Tabellen (Tab. 5-8) sind die Signifikanzen der Fehlerabweichungen dargestellt, die bei korrekter Ausgangshypothese  $< 0,05$  sein sollten.

	<i>N. radialis re</i>	<i>N. radialis li</i>	<i>N. ulnaris re</i>	<i>N. ulnaris li</i>
P9	0,079	0,05	$<0,001$	0,282
N10	$<0,001$	$<0,001$	0,001	0,021
N20	0,014	0,699	0,496	0,022
P25	0,318	0,013	0,099	0,035

**Tab. 5** Signifikanzen der Fehlerabweichungen

Alter:

	<i>N. radialis re</i>	<i>N. radialis li</i>	<i>N. ulnaris re</i>	<i>N. ulnaris li</i>
p9	0,058	$<0,001$	0,853	0,852
N10	0,068	0,008	0,874	0,095
N20	0,959	0,966	0,201	0,203
P25	0,64	0,924	0,03	0,447

**Tab. 6** Signifikanzen der Fehlerabweichung der Ausgangswerte in Abhängigkeit vom Alter

Gewicht:

	<i>N. radialis re</i>	<i>N. radialis li</i>	<i>N. ulnaris re</i>	<i>N. ulnaris li</i>
p9	0,625	0,011	0,118	0,041
N10	0,138	0,084	0,798	0,073
N20	0,375	0,595	0,066	0,006
P25	0,944	0,562	0,721	0,015

**Tab. 7** Signifikanzen der Fehlerabweichung der Ausgangswerte in Abhängigkeit vom Gewicht

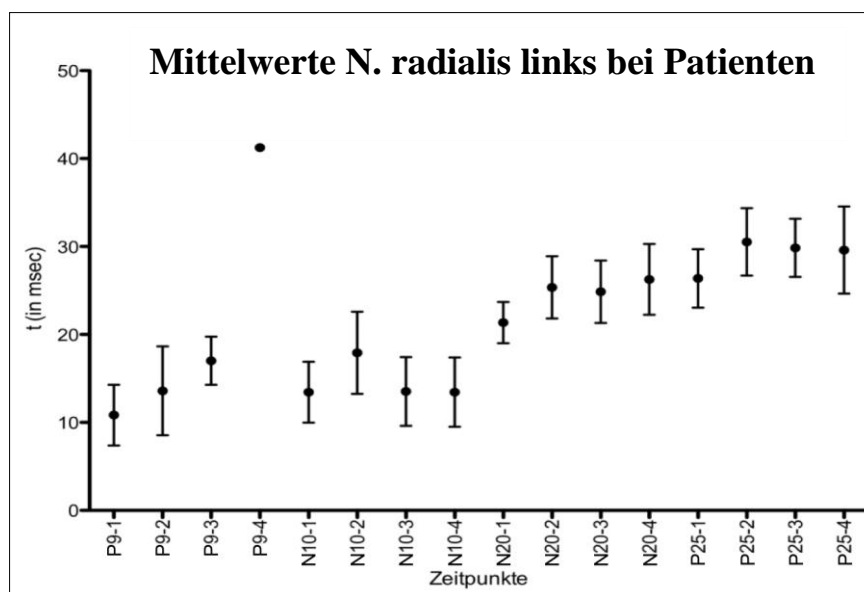
Gruppenzugehörigkeit zur Probandengruppe:

	<i>N. radialis re</i>	<i>N. radialis li</i>	<i>N. ulnaris re</i>	<i>N. ulnaris li</i>
P9	0,01	<0,001	0,429	0,008
N10	0,003	0,001	0,01	0,003
N20	0,014	0,784	0,345	0,012
P25	0,219	0,926	0,951	0,029

**Tab. 8** Signifikanzen der Fehlerabweichung der Ausgangswerte in Abhängigkeit der Gruppe

### 5.6 Veränderungen der SEP in Abhängigkeit von der Blockadedauer

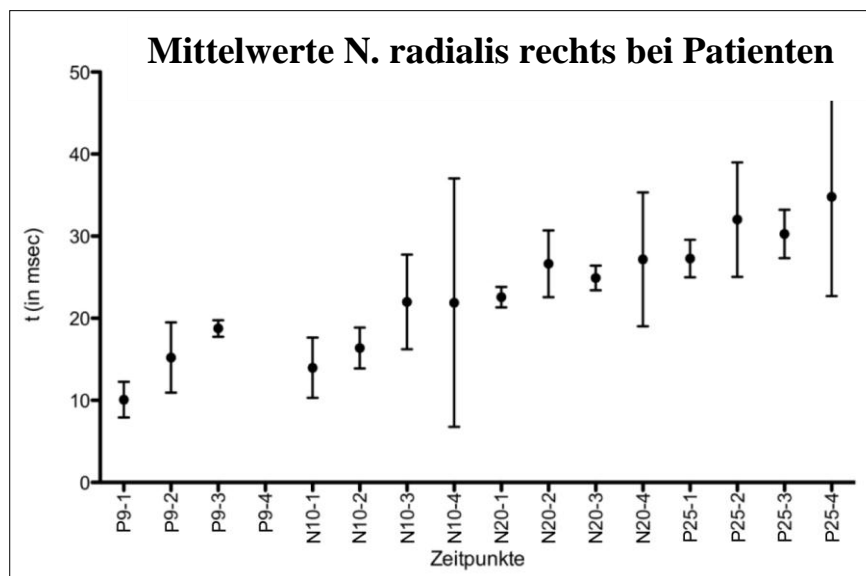
In den Abbildungen sind die Potentiale P9, N10, N20, P25 nacheinander zu den Zeitpunkten 1 = Ausgangswert, 2 = 10 Minuten nach Punktion, 3 = 20 Minuten nach Punktion und 4 = Zeitpunkt der Operationsfreigabe dargestellt.



**Abb. 27** Mittelwerte *N. radialis* links Patienten, P9 nur ein Wert auswertbar

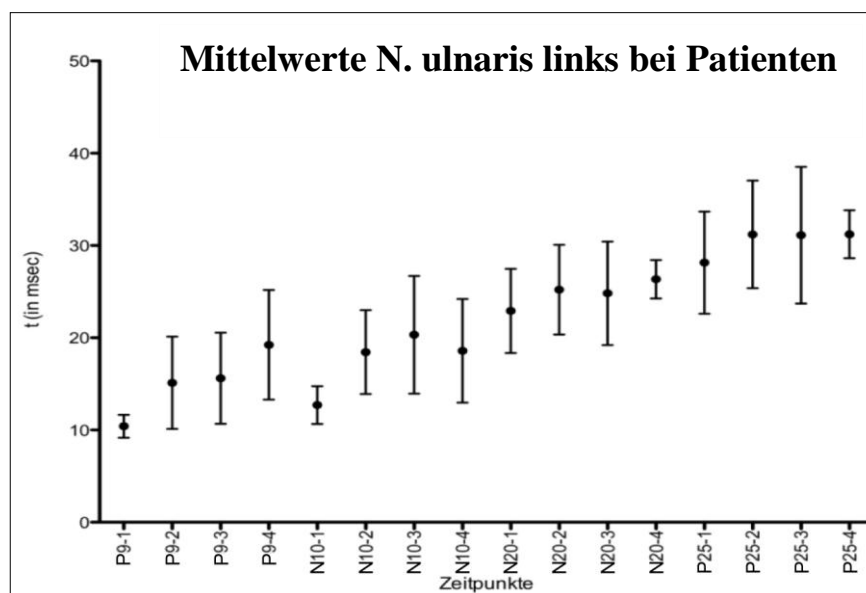


An allen Ableitungspunkten zeigt sich eine zeitabhängige Veränderung der Latenzen. Die Veränderungen waren gegenüber dem Ausgangswert signifikant.



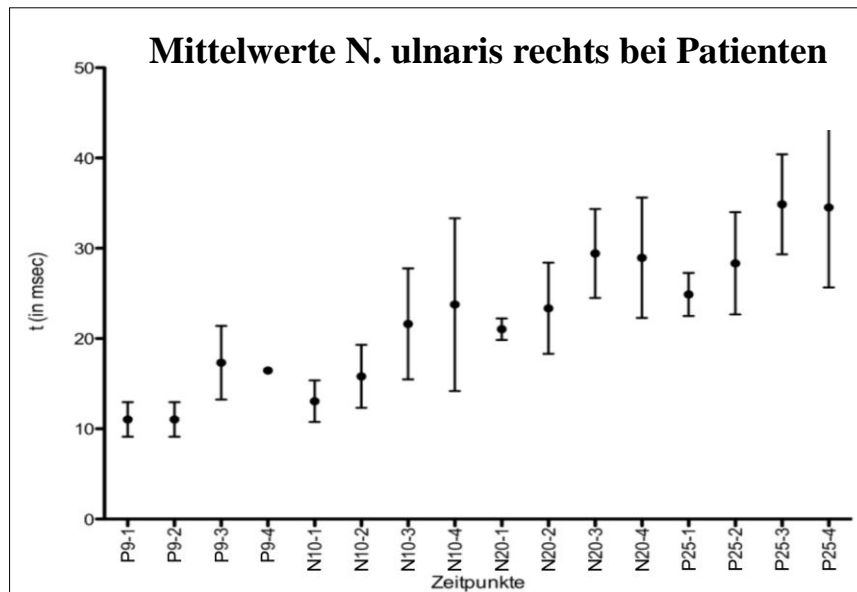
**Abb. 28** Mittelwerte *N. radialis* rechts Patienten, P9 kein Wert messbar

An allen Ableitungspunkten zeigt sich eine zeitabhängige Veränderung der Latenzen. Die Veränderungen waren gegenüber den Ausgangswerten signifikant.



**Abb. 29** Mittelwerte *N. ulnaris* links Patienten

An allen Ableitungspunkten zeigt sich eine zeitabhängige Veränderung der Latenzen. Die Veränderungen waren gegenüber dem Ausgangswert signifikant.



**Abb. 30** Mittelwerte *N. ulnaris* rechts Patienten P9 - nur ein Wert auswertbar

	Latenz-Mittelwerte (in msec.) und Signifikanz				
Zeitpunkt	N10-1	N10-2	p	N10-3	p
<i>N. radialis</i> li.	13,4385	17,9192	0,022	21,4786	0,037
<i>N. radialis</i> re.	13,9667	16,3667	0,14	21,9917	0,002
<i>N. ulnaris</i> li.	12,703	18,44	p<0,001	20,32	0,001
<i>N. ulnaris</i> re.	13,0591	15,8136	0,034	21,622	0,004

**Tab. 9** Latenz-Mittelwerte (in msec.) und Signifikanz-Vergleich der Blockdauer: nach 20 Minuten sind durchgehend signifikante Werte zu eruieren

## 5.7 Korrelation der klinischen Veränderungen mit den Veränderungen der Latenzen

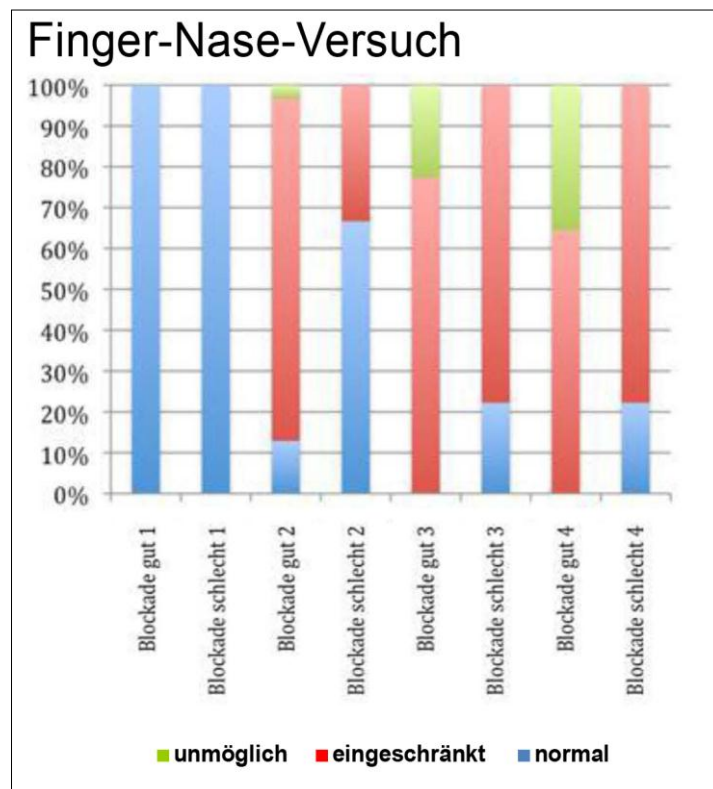


Abb. 31 Finger-Nase-Versuch

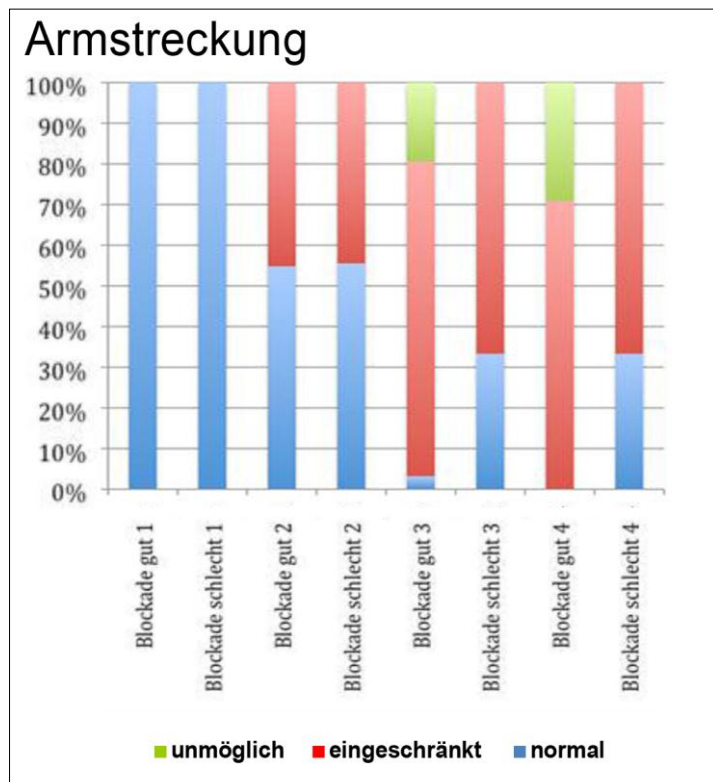


Abb. 32 Armstreckung

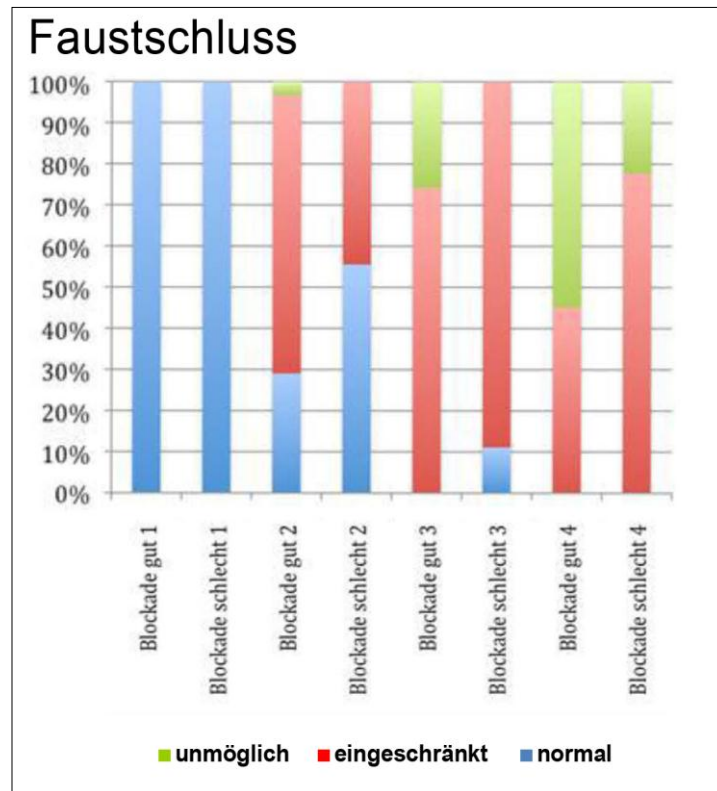


Abb. 33 Faustschluss

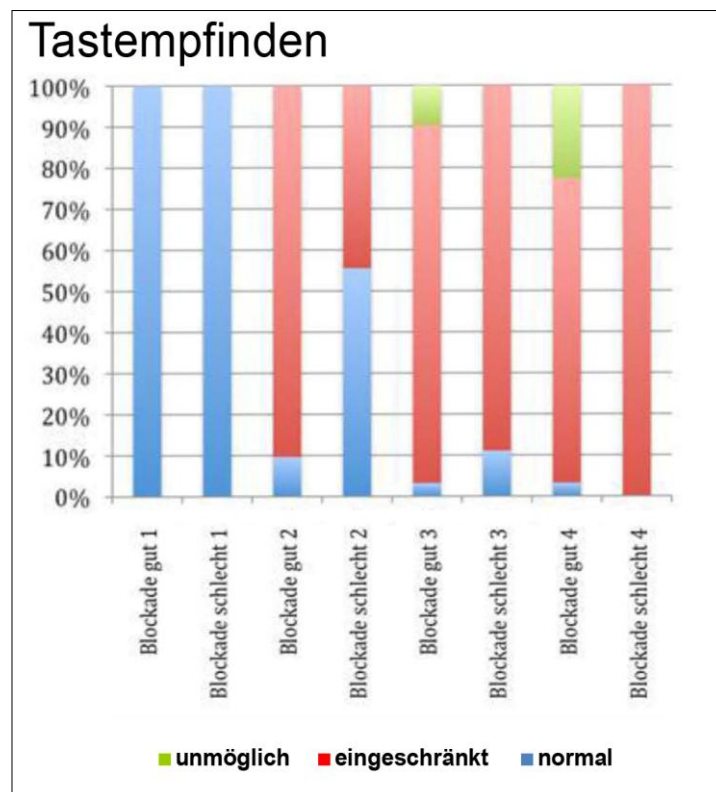
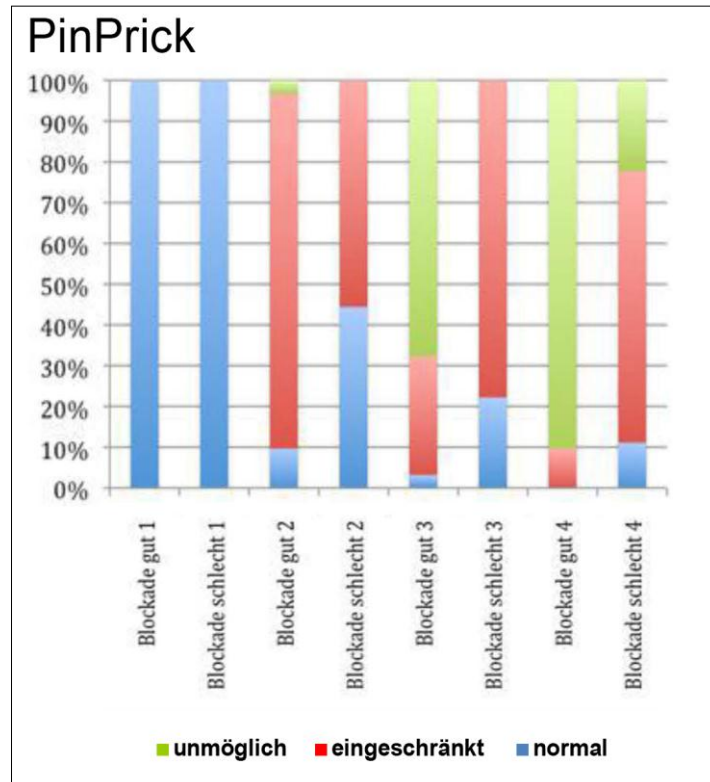


Abb. 34 Tastempfinden

Sowohl das Beugen des Unterarmes (Finger-Nase-Versuch) und die Anteversion des Oberarmes, sowie der Faustschluss und das Tastempfinden waren trotz Plexusanästhesie und guter Blockade häufig noch möglich oder nur gering eingeschränkt (Abb.31-34).



**Abb. 35** PinPrick

Der PinPrick Test testet ausschließlich die Sensibilität. Er konnte bei 3,3 % der Patienten mit erfolgreicher Blockade nach 10 Minuten, bei 67,7 % nach 20 Minuten und bei 90,3 % zur Operationsfreigabe nicht mehr differenziert werden. In der Gruppe der Blockadeversagen ist innerhalb der ersten 20 Minuten nur eine Einschränkung zu verzeichnen und erst zum Operationsbeginn ist der PinPrick Test bei 22,2 % der Patienten nicht mehr differenzierbar (Abb. 35). Eine frühe Veränderung bzw. Unmöglichkeit des PinPrick-Tests war somit in der Gruppe der erfolgreichen Blockade zu verzeichnen.

Das Temperaturempfinden in der Gruppe der erfolgreichen Blockade war nach 10 Minuten bei 16,2 %, nach 20 Minuten bei 70,9 % und zur Operationsfreigabe bei 93,5 % der Patienten aufgehoben. Die komplette Einschränkung des Temperaturempfindens ist in der Versagergruppe erst nach 20 Minuten bei 11,1 % und zur OP-Freigabe bei 33,4 % der Patienten festzustellen (Abb. 36). Somit zeigte sich eine frühe Temperaturunempfindlichkeit in der Gruppe mit guter Blockade.

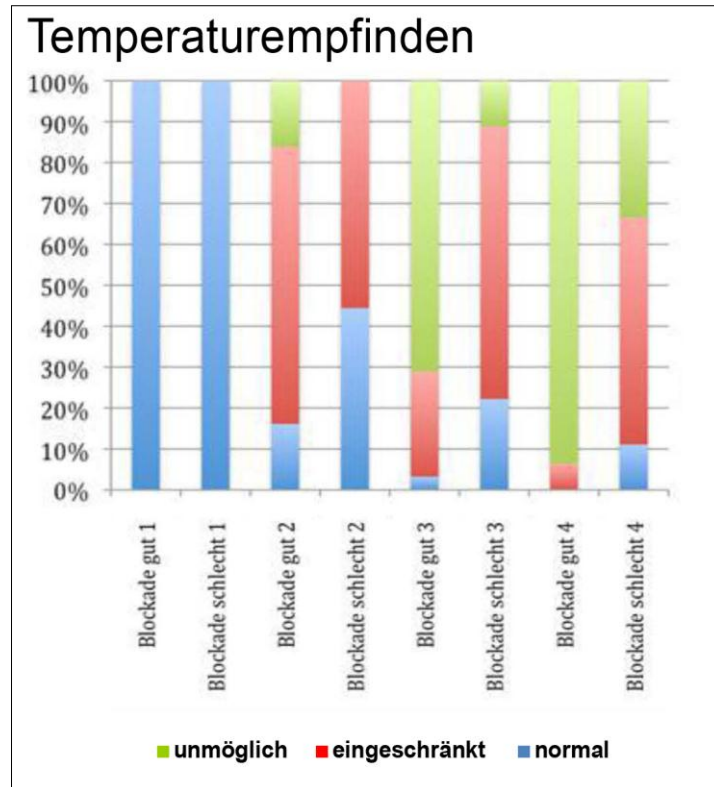
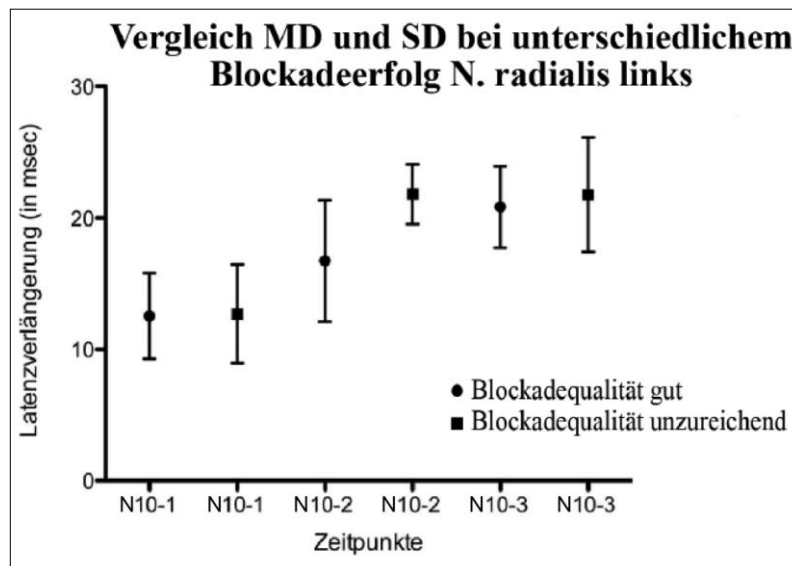


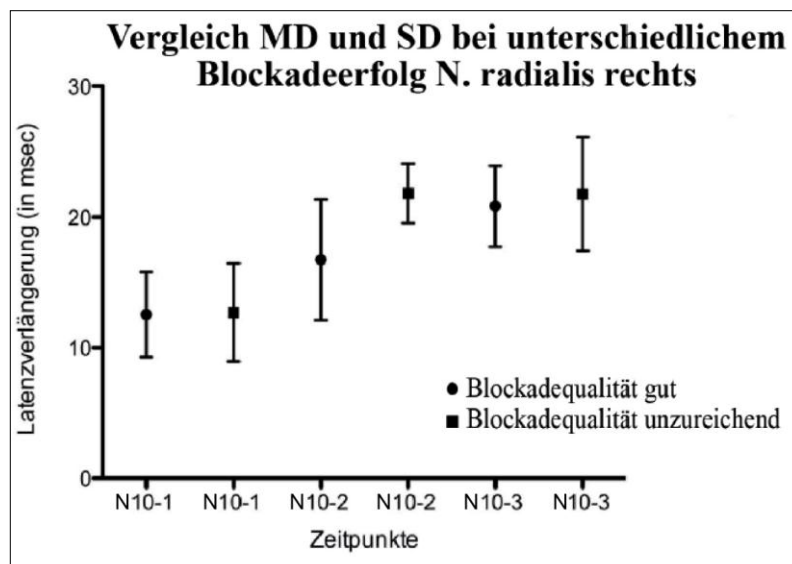
Abb. 36 Temperaturrempfinden

### 5.8 Unterschiede in der Latenzverlängerung in Abhängigkeit von der klinisch eruierten Blockadequalität



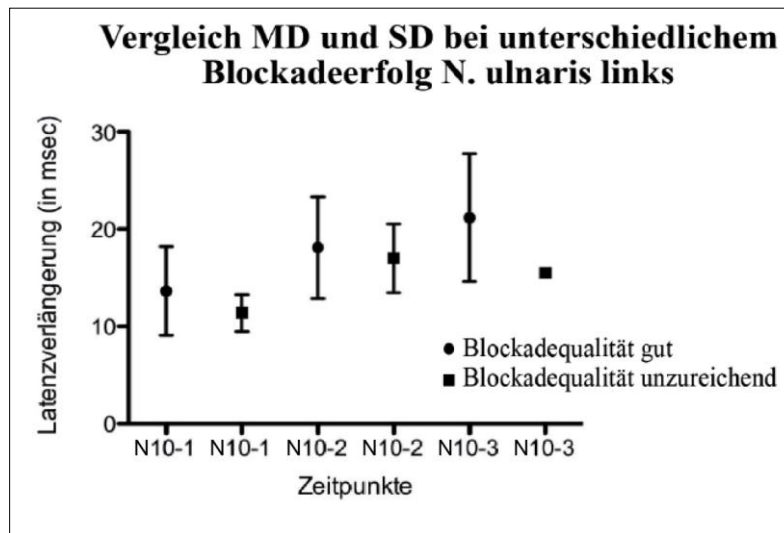
**Abb. 37** Vergleich Mittelwert (MD) und Standardabweichung (SD) bei unterschiedlichem Blockadeerfolg *N. radialis* links

Die Veränderungen der Latenzen sind in der Gruppe der Regionalanästhesieversager nicht signifikant. Getestet wurde mit dem T-Test bei gepaarten Stichproben.



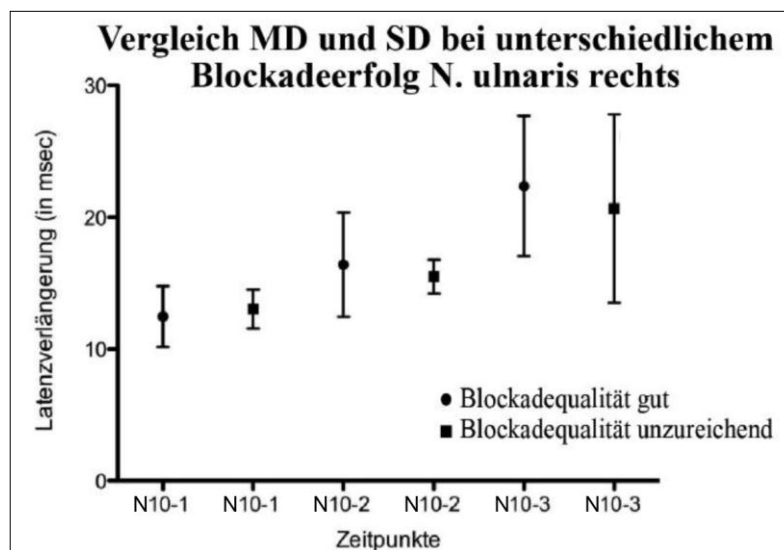
**Abb. 38** Vergleich MD und SD bei unterschiedlichem Blockadeerfolg *N. radialis* rechts

Die Veränderungen der Latenzen sind in der Gruppe der Regionalanästhesieversager nicht signifikant. Getestet wurde mit dem T-Test bei gepaarten Stichproben.



**Abb. 39** Vergleich MD und SD bei unterschiedlichem Blockadeerfolg *N. ulnaris* links

Die Veränderungen der Latenzen sind in der Gruppe der Regionalanästhesieversager nicht signifikant. Getestet wurde mit dem T-Test bei gepaarten Stichproben.



**Abb. 40** Vergleich MD und SD bei unterschiedlichem Blockadeerfolg *N. ulnaris* rechts

Die Veränderungen der Latenzen sind in der Gruppe der Regionalanästhesieversager nicht signifikant. Getestet wurde mit dem T-Test bei gepaarten Stichproben.



Zeitpunkt	Latenz-Mittelwerte (in msec.)und Signifikanz				
	N10-1	N10-2	p	N10-3	p
<i>N. radialis</i> li.	12,7	21,8166	0,01	21,775	0,0551
<i>N. radialis</i> re.	15,61	15,1	0,806	25,575	0,03
<i>N. ulnaris</i> li.	11,375	17,01667	0,0404	15,525	0,04363
<i>N. ulnaris</i> re.	13,05	15,4875	0,03552	20,6625	0,0502

**Tab. 10** Latenz-Mittelwerte (in msec.) und Signifikanz (beim Vergleich der Blockqualität)

## 6 Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war die Untersuchung eines Zusammenhanges zwischen der Qualität einer Armplexusanästhesie und den Veränderungen der am zu operierenden Arm abgeleiteten SEP. Es wurde der Frage nachgegangen, ob die Veränderungen der SEP mit den üblichen klinischen Bewertungen der Blockadequalität korrelieren und ob anhand frühzeitiger SEP-Veränderungen eine prospektive Aussage über die zu erwartende Blockadequalität getroffen werden kann. Weiterhin wurde die Nutzung einer Referenzkurve als Ausgangswert untersucht, um ggf. für ein besseres Time-Management auf die Ausgangsmessung verzichten zu können. Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war die frühe Erkennung der Radialislücke, die bei axillären Zugangswegen häufig auftritt.

### 6.1 Regionalanästhesie der oberen Extremität

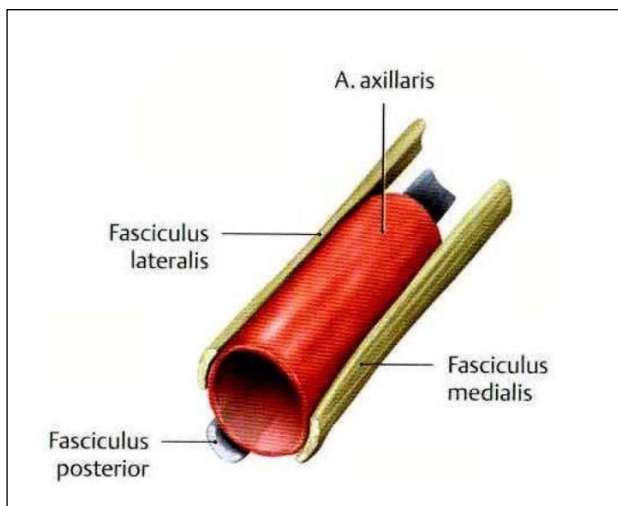
Nach Einführung des Kokains 1884 injizierte Halsted im gleichen Jahr das verdünnte Lokalanästhetikum nach operativer Freilegung der Nervenwurzeln des *Pl. brachialis* direkt intraneural [59]. In ähnlicher Weise legte Crile 1897 den *Pl. brachialis* operativ hinter dem *M. sternocleidomastoideus* frei, um das Lokalanästhetikum unter Sicht intraneural zu applizieren [6]. Hirschel war der erste, der 1911 über eine perkutane Technik der Blockade des *Pl. brachialis* von der Axilla aus berichtete [16]. Burnham wies auf die Gefäß-Nerven-Scheide zur Identifizierung der korrekten Kanülenlage bei der Durchführung der axillären Blockade hin. Er sprach von einem charakteristischem „Klick“ bei der Durchdringung der Faszie mit der Nadel. Es war nicht mehr nötig, die Nerven mit Hilfe von Parästhesie aufzusuchen und zu identifizieren [2]. De Jong bediente sich 1961 noch zweier Injektionen ober- und unterhalb der *A. axillaris* und empfahl, Parästhesien auszulösen, um eine korrekte Kanülenlage zu gewährleisten [7]. Eriksson und Winnie waren die ersten, die aufgrund der Anatomie einer gemeinsamen Gefäß-Nerven-Scheide die einmalige Injektion in diese empfahlen [9, 59]! 1972 führte Selander eine Punktion mit Hilfe einer Venenverweilkanüle durch und schuf damit die Voraussetzung der peripheren kontinuierlichen regionalen Verfahren [49]. Unklar blieb jedoch der Grund für die Versagerquote von ca. 5 bis 20 %, über die bei fast allen Techniken zur axillären Plexusanästhesie berichtet wird. Thompson und Rorie kamen aufgrund anatomischer Studien zu dem Ergebnis, dass innerhalb der axillären Gefäß-Nerven-Scheide eine Septierung vorliegt, welche eine gleichmäßige Ausbreitung des Lokalanästhetikums verhindert und nach ihrer Meinung die „*single injektion technique*“

unmöglich und wertlos machen würde [51]. Das widerspricht aber gänzlich den bei der „*single injections technique*“ nachgewiesenen Erfolgsquoten von 80 bis 95 %.

Partridge et al. hinterfragten die Untersuchung von Thompson und Rorie und kamen zu dem Schluss, dass die Septen innerhalb der Gefäß-Nerven-Scheide zwar existieren, jedoch funktionell inkomplett sind und eine gleichmäßigen Ausbreitung des Lokalanästhetikums in der Regel nicht verhindern [39]. Grundsätzlich bietet die „*single injections technique*“ den Vorteil, schnell, einfach sowie unter Verzicht auf Parästhesien durchführbar zu sein. Der *N. radialis* stellt das eigentliche Problem der axillären Blockade dar. Aufgrund seiner exzentrischen Lage bei abduziertem Arm innerhalb der Gefäß-Nerven-Scheide, wird dieser Nerv vergleichsweise schlecht von der in die Gefäß-Nerven-Scheide injizierten Substanz umspült [54]. Vester Andersen empfiehlt daher, das Lokalanästhetikum (LA) bei adduziertem Arm zu applizieren [54]. Die Effektivität dieses Verfahrens konnte in einer kontrollierten Studie nicht bestätigt werden [27]. Yamamoto et al fanden jedoch eine bessere Blockadequalität durch Injektion des LA bei abduziertem Arm [60].

## 6.2 Anatomie des *Plexus brachialis*

Der *Pl. brachialis* wird von den *Rami (Rr.) anteriores* des Spinalnerven C5-C8 und Th1 gebildet [26]. Die Wurzeln der Spinalnerven treten aus dem Spinalkanal hinter der *A.*



**Abb. 41** Lage und Benennung der *Fasciculi* in Beziehung zur *A. axillaris* aus Schünke

*vertebralis* aus und ziehen über den *Processus (Pr) transversus* des korrespondierenden Wirbelkörpers. Anschließend verbinden sich die einzelnen Wurzeln zu *Trunci (Tr)* und laufen auf die 1. Rippe zu. Der *Tr. superior* entsteht aus der Vereinigung der Wurzel von C5/6, der *Tr. medius* wird von der Wurzel C7 gebildet und der *Tr. inferior* von der Wurzel C8/Th1.

In dieser Form treten die *Trunci*

durch die Scalenuslücke zwischen dem *M. scalenus anterior* und *medius* aus, unter der *Clavicula* hindurch und überqueren die 1. Rippe. Knapp oberhalb der *Clavicula* teilen sich die *Trunci* jeweils in einen vorderen und hinteren Anteil. Etwa beim Überqueren

der 1. Rippe kommt es zu einer erneuten Vereinigung der vorderen und hinteren Anteile der *Trunci*. Es werden hier die *Fascicel* gebildet. Der vordere Anteil des *Tr. superior* und *Tr. medius* bildet den lateralen *Fascicel*, der mediale *Fascicel* ist die Fortsetzung des vorderen Anteils des *Tr. inferior*. Die 3 hinteren Anteile bilden gemeinsam den *Fasciculus posterior*. Aus den *Fasciceln* formieren sich die den Arm versorgenden Nerven.

Die postganglionären Fasern des mittleren Cervicalganglions und des *Gl. stellatum* vereinigen sich mit der Nervenwurzeln des *Pl. brachialis*, bevor dieser in die Scalenuslücke eintritt. Der gesamte *Pl. brachialis* ist vom Austritt aus der Wirbelsäule bis in die axilläre Region von einer Bindegewebshülle umgeben. Vor Überqueren der 1. Rippe tritt die *A. subclavia*, die hier zur *A. axillaris* wird, ventral des *Pl. brachialis* mit in die Bindegewebshülle ein. Nach Überquerung der 1. Rippe kommt die *Vena (V.) axillaris* dazu, die medial, ventral der Scalenuslücke, die 1. Rippe überquert. Von hieraus bis in die axilläre Region setzt sich die Bindegewebshülle als Gefäß-Nerven-Scheide fort. In der axillären Region haben sich die terminalen Nerven bereits formiert, sie sind auch hier von einer gemeinsamen dicken Bindegewebshülle umgeben, deren Dichtigkeit sich in der Peripherie verstärkt.

Der *N. musculocutaneus* verlässt frühzeitig die Gefäß-Nerven-Scheide. Bei einer Regionalanästhesie des *Pl. brachialis* wird dieser daher nicht oder nur unzureichend mit blockiert. Wenn er nicht nachgeblockt wird, ist es den Patienten in der Regel trotz Plexusanästhesie möglich, den Arm zu beugen.

Außer den Gefäßen befindet sich keine kritische anatomische Struktur in diesem Bereich, so dass die Punktion des axillären Plexus als die sicherste Methode gelten kann.

### **6.3 Indikationen und Kontraindikationen der axillären Plexusblockade**

Gegenwärtig kommt die axilläre Plexusblockade bei Operationen im Bereich des distalen Oberarms, des Unterarms und der Hand regelmäßig zum Einsatz. Anwendung findet sie ebenfalls als kontinuierliches oder einmaliges Verfahren zur schmerztherapeutischen Behandlung von komplexen regionalen Schmerzsyndromen im genannten Bereich [45], in der physiotherapeutischen Behandlung, sowie zur Sympathikolyse [3]. Der axilläre Zugangsweg gilt nach wie vor als das risikoärmste Verfahren, den *Pl. brachialis* zu betäuben. Die Vorteile liegen in der einfachen und schnellen Durchführung, in einer gewissen Unabhängigkeit in der Planung und der Möglichkeit, ggf. auch außerhalb des Operationsraumes die Blockade bereits anzulegen. Bei Nutzung eines Katheterverfah-

rens kann die Wirkdauer der Analgesie unter Berücksichtigung der Tageshöchstdosis des verwendeten Lokalanästhetikums beliebig verlängert werden. Nachteile sind die relativ hohe Versagerquote, v.a. des *N. radialis* und *N. musculocutaneus*, sowie die vergleichsweise lange Anschlagzeit von 20 bis 30 Minuten bis zum Erreichen der chirurgischen Toleranz. Als absolute Kontraindikationen für die axilläre Plexusanästhesie gelten ein nicht abduzierbarer Arm, Infektionen im Bereich der Einstichstelle, sowie Läsionen der Nerven distal der Einstichstelle, eine manifeste Gerinnungsstörung, Zustand nach Lymphadenektomie (z.B. nach Mammakarzinom) und die Ablehnung des Verfahrens durch den Patienten [3, 37, 33, 44, 45].

Zu den relativen Kontraindikationen zählen neurologische Defizite an der zu anästhesierenden Extremität. Vor der Durchführung der Blockade sollte ein neurologischer Status exakt dokumentiert werden [43]. Eine sehr kritische Indikationsstellung ergibt sich bei hämorrhagischen Diathesen, da sich eine akzidentielle Punktion der *A. axillaris* nicht sicher vermeiden lässt [37].

Nach Selender et al. [50] treten bei jeder Form der Plexusblockade Komplikationen auf. In einer Studie von Thompson [53] wurde bei axillärer Blockade insgesamt in 24,8 % der Fälle iatrogen ein Gefäß punktiert, nach Korrektur der Nadellage immer folgenlos. Bei der axillären Plexusblockade traten in der Studie von Thompson in 22 % der Fälle intravasale Fehllagen auf. Die Häufigkeit der intravasalen Punktion wird bei der axillären Plexusblockade unterschiedlich zwischen 3 bis 50 % angegeben [7, 35, 57]. In der Literatur wird immer wieder auf die Unbedenklichkeit einer Gefäßverletzung hingewiesen [7, 28, 35, 40, 57].

22 % der Patienten klagten in Thompsons Untersuchung über unangenehmes, aber folgenloses Auftreten von Druckgefühl beim Einspritzen des Lokalanästhetikums oder über Schmerzen an der Einstichstelle [5].

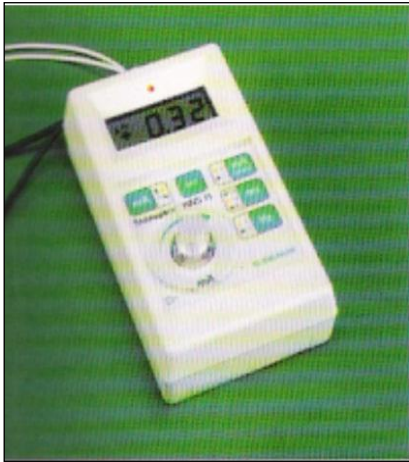
Der inkomplette Block ist die häufigste Komplikation der axillären Blockade, gefolgt von unabsichtlichen Gefäßpunktionen mit der möglichen Entstehung eines Hämatoms, welches den Plexus komprimieren kann [37]. Die eventuelle Ausbildung eines Pseudoaneurysmas der *A. axillaris* kann postoperativ zu Parästhesien und einer Plexuslähmung führen [17]. Neurologische Komplikationen werden in der Literatur zwischen 0 bis 2,1% angegeben [43,52]. Sie sind selten und meistens folgenlos, wenn auch längere Zeit bis zur *restituto ad integrum* vergeht [10]. Beim Auftreten von neurologischen Komplikationen nach einer Plexusblockade wird häufig die Blockade als Ursache angegeben. Sie können jedoch durch eine Vielzahl von Ursachen hervorgerufen werden.

Dazu gehört die Lagerung der Extremität mit möglichem Druck auf Nervenfasern, insbesondere deshalb, da der Patient durch die Plexusanästhesie bedingt kein Schmerzempfinden und damit keine Schutzfunktion besitzt. Des Weiteren werden chirurgische und traumatische Auswirkungen während und nach der Operation angegeben, wie z.B. durch zu enge Gipsverbände oder das zur Blutleere eingesetzte Tourniquet.

Der Manschettendruck auf Nervenfasern und die Gewebeischämie spielen die hauptsächliche Rolle. Eine vorbestehende neurologische Erkrankung kann durch das Tourniquet zur Exazerbation kommen. Neuronale Schädigungen sind aber auch durch die Blockadetechnik möglich. In diesem Zusammenhang wird die schnelle Injektion, die intraneurale Injektion, die Verwendung scharfgeschliffener Nadeln oder das häufige Auslösen von Parästhesien diskutiert [14,42]. In der Studie von Thompson wiesen in der axillären Gruppe 11 % der Patienten eine flüchtige reversible Parästhesie (<6h) auf. Es gab keinen Beweis dafür, dass diese Parästhesien durch die Blockadetechnik oder durch den Eingriff ausgelöst worden sind [53].

Durch intravasale Injektionen des Lokalanästhetikums kann es zur Intoxikation mit zentralnervösen Symptomen kommen wie Metallgeschmack, Ohrklingen, Sehstörungen, Taubheitsgefühlen der Lippe und Zunge, Schläfrigkeit, Hörstörungen und Muskelzittern, Nystagmus bis hin zu tonisch-klonischen Krämpfen [17].

#### 6.4 Etablierung der peripheren Nervenstimulation (PNS)

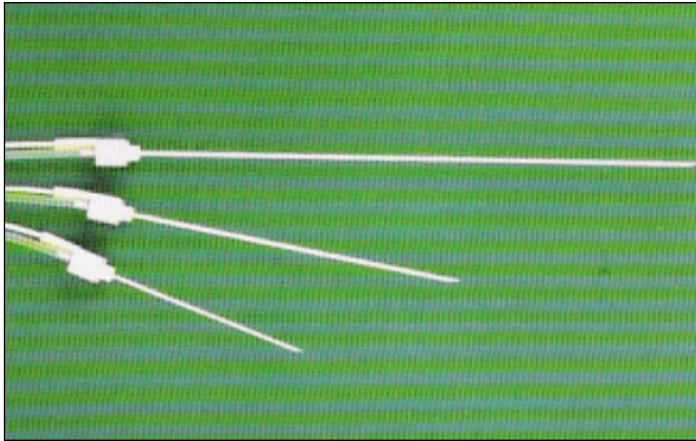


**Abb. 42** Nervenstimulator Stimplex HNS 11 (Firma B. Braun Melsungen), aus Mehrkens

Der Tübinger Chirurg Perthes hat 1912 zum ersten Mal über die elektrische Stimulation zur Lokalisation von Nerven berichtet [40]. Die erste Stimulation des *Pl. brachialis* mit einem Nervenstimulator wurde jedoch erst 50 Jahre später beschrieben [13]. Lange Zeit galt es als unabdingbar, die Lokalisation eines Nerven durch das Auslösen von Parästhesien zu sichern [34]. Die Notwendigkeit der peripheren Nervenstimulation (PNS) zur Durchführung von Leitungsanästhesien wird nach wie vor kontrovers diskutiert [46], da auch ohne Nervenstimulation eine regionale Anästhesie erfolgreich durchgeführt werden kann. Dies gilt insbesondere für die axilläre Plexusanästhesie, bei der die derbe Faszienschicht des Plexus eine Widerstandsverlusttechnik erlaubt. Hierbei dient die PNS der zusätzlichen Orientierung. Obligatorisch sollte der Einsatz eines Nervenstimulators (Abb. 42) bei schwierigen anatomischen Verhältnissen und Nervenblockaden mit großer Haut-Nerven-Distanz (z.B. *N. ischiadicus*) sein.

Die PNS ist ein wertvolles Hilfsmittel für die klinische Praxis und bietet in Verbindung mit einer atraumatischen Punktionskanüle Vorteile:

- Die PNS macht eine Methode leicht erlernbar und erbringt auch bei weniger häufiger Anwendung hohe Erfolgsraten
- Eine Kooperation mit dem Patienten ist nicht erforderlich, so dass die Regionalanästhesie mit einer atraumatischen Stimulationskanüle (Abb. 43) auch unter Sedierung erfolgen kann.
- Es können periphere Blockaden durchgeführt werden in Gebieten, die durch proximalere, z.B. plexus- o. rückenmarksnahe Blockaden schon teilweise oder ganz anästhesiert sind.
- Die Gefahr einer Nervenläsion wird auf ein Minimum beschränkt, da ein direkter Kontakt der Nadel mit dem Nerv bewusst vermieden wird.



**Abb. 43** Stimulationskanülen Stimuplex D, 15Grad (Firma B. Braun Melsungen), aus Mehrkens

Wichtige Parameter bei der Einstellung des Nervenstimulators sind die fließende, gemessene Reizstromstärke sowie die Dauer des abgegebenen Stromimpulses, d.h. die Impulsbreite [36]. Ein konstanter Stromfluss bei Widerständen zwischen 0,5 und 10 Kiloohm als

monophasischer Rechteckausgangsimpuls mit einer Impulsdauer von 0,1 bis 1 ms und eine exakt justierbare Impulsamplitude zwischen 0 mA und 5,0 mA sollten einstellbar sein. Die Impulsfrequenz des Stimulators sollte 1 bis 2 Hz betragen. Nach der Punktion ist es empfehlenswert, die Nervenstimulation mit der Impulsdauer von 0,1 ms und einer Impulsstärke von 1 mA zu beginnen [11].

Wird durch elektrische Impulse ein Nerv mit motorischen und sensiblen Nervenfasern gereizt, werden motorische Kontraktionen hervorgerufen, ohne dass der Patient schmerzhafte Parästhesien empfindet. Die Entfernung zwischen explorierender Nadel und Nerven kann an der erforderlichen Stromstärke abgeschätzt werden. Ruft eine sehr geringe Stromstärke (0,2mA) eine maximale Muskelkontraktion hervor, liegt die Nadel in unmittelbarer Nähe des Nerven.

Aus Sicherheitserwägungen, insbesondere bei sedierten Patienten, sollten 0,2 mA bei einer Impulsbreite von 0,1 ms nicht unterschritten werden. Stromstärken über 0,5 mA führen vermehrt zu Versagern und inkompletten Anästhesien. Für die erfolgreiche Durchführung der Blockade ist die Stichrichtung der Punktionsnadel entscheidend. Sie sollte möglichst im spitzen Winkel und parallel zum entsprechend vermuteten Nervenverlauf ausgeführt werden.

Anhand der beobachteten Bewegungen des Armes oder der Hand, ist ein Rückschluss auf den stimulierten Nerven möglich.



## 6.5 Somatisch evozierte Potentiale (SEP)

Biophysologisch stellt ein evoziertes Potenzial das neuroelektrische Korrelat einer durch einen externen Reiz verursachten hirnelektrischen Aktivitätsänderung dar, die ihr Abbild im Oberflächen - Elektroenzephalogramm (EEG) hat, welches registriert und speziell technisch aufgearbeitet wird. Nach der technischen Weiterverarbeitung erhält man das evozierte Potential als alleiniges Extrakt der reizinduzierten Aktivitätsänderung des Oberflächen-EEG. Ohne eine solche Aufbereitung wäre die reizinduzierte Hirnaktivitätsänderung im Oberflächen-EEG nicht sichtbar, da sie mit sehr kleinen Amplituden zur Darstellung kommt, die normalerweise von der „zufälligen“ Oberflächen-EEG-Aktivität mit höheren Amplituden überlagert werden.

Die registrierten Potenziale sind dabei Zeichen postsynaptischer Potentialveränderungen der aktivierten Nervenzellen im somatosensiblen Kortex.

SEP erlauben eine objektive und quantifizierbare Funktionsprüfung des somatosensiblen Systems. Nachweisbar sind örtliche, vollständige oder partielle Leistungsblockaden und Leitungsverzögerungen peripherer und zentraler neuronaler Strukturen. Im Gegensatz zu klinischen Untersuchungen ermöglichen die SEP die Diagnostik auch inapparenter, also klinisch stummer, Funktionsstörungen von afferenten sensiblen Strukturen. Mit Hilfe der SEP können proximale periphere Nervenschäden, wie zum Beispiel Schäden des *Pl. brachialis*, beurteilt werden. Da die spinalen und die frühen kortikalen Potenziale sehr stabil gegenüber Medikamenteneinflüssen und Veränderungen der Bewusstseinslage sind, haben die SEP Bedeutung in der intensivmedizinischen und intraoperativen Überwachung von Risikopatienten sowie in der prognostischen Einschätzung von spinalen und zerebralen Traumen. In der pädiatrischen Neurologie spielen die SEP bei der prognostischen Beurteilung von Risikokindern eine bedeutende Rolle [32].

Die SEP werden vornehmlich eingesetzt bei:

- Skolioseoperationen
- Rückenmarkschirurgie
- intra- und extrakranieller spinaler und zerebraler interventioneller Neuroradiologie
- Spinaler und zerebraler Tumorchirurgie

Die spinalen und die frühen kortikalen SEP werden durch sedierende Medikamente nur unwesentlich beeinflusst. Beachtung finden müssen vielfältige intra- und extrakorporale Einflussmöglichkeiten, vor allem auch während einer Allgemeinanästhesie, die die

SEP-Beurteilung erheblich erschweren, wie z.B. Körpertemperatur, pCO<sub>2</sub>, pO<sub>2</sub> und Blutdruck. Die Veränderungen der SEP durch diese Einflüsse können chirurgisch verursachte neurale Läsionen verdecken.

In der vorliegenden Studie können diese Einflussfaktoren jedoch vernachlässigt werden da ausschließlich die Regionalanästhesie zur Anwendung kam und stabile Grundbedingungen herrschten.

Aufgrund der vielen perioperativen Einflüsse ist es unverzichtbar, dass präoperativ und kurze Zeit nach der Narkoseeinleitung „Basis-SEP-Kurven“ registriert werden, die dann intraoperativ zum Vergleich herangezogen werden können. Jede Arbeitsgruppe muss eigene Normwerte erstellen, die den eingesetzten Operations- und Narkosetechniken Rechnung tragen.

Im Allgemeinen werden Amplitudenreduktionen von weniger als 50 % und Latenzverlängerungen der Gipfelzeiten oberhalb der 2,5 fachen Standardabweichung als Grenzwerte der Normalität angesehen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei signifikanten intraoperativen SEP-Veränderungen an das Auftreten von postoperativen neurologischen Schäden zu denken ist. Das intraoperative SEP-Monitoring gibt dem Operateur die Möglichkeit, in situ die neuralen und neuronalen Funktionen zu überwachen [32].

## 6.6 Zielstellung

Bisher konnte in der klinischen Praxis nach Regionalanästhesie der oberen Extremität der Erfolg der Punktion erst nach Eintritt der klinischen Wirkung beurteilt werden. Meist dauerte es mindestens 20 Minuten, bis eine Aussage getroffen werden konnte.

Das Ziel der vorliegenden Studie war u.a. die Untersuchung, ob sich die SEP der oberen Extremität nach Regionalanästhesie ändern und wenn ja, ob anhand dieser Veränderungen auf die Blockadequalität rückgeschlossen werden kann.

Ist es möglich, anhand früher SEP-Veränderungen die Blockadequalität sicher vorherzusagen und damit auf die Wartezeit bis zum Auftreten klinischer Veränderungen verzichten zu können? Kann durch Nutzung einer Referenzkurve als Ausgangswert auf die Ausgangsmessung verzichtet werden? Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war die frühe Erkennung der Radialislücke, die bei axillären Zugangswegen regelmäßig auftritt. Der *N. radialis* wird häufig bei einer axillären Blockade des *Pl. brachialis* nicht mit erreicht. Als im Handgelenksbereich rein sensibler Nerv ist es, durch das Fehlen einer motorischen Kontrollantwort, schwierig SEP abzuleiten. Mit Hilfe einer Probandengruppe

sollte zunächst eine Referenzkurve erarbeitet werden, um dann anhand fehlender früher SEP-Veränderungen nach Blockade schnellstmöglich die Radialislücke zu erkennen.

### **6.7 Veränderungen der SEP unter Regionalanästhesie**

In einer Arbeit von Lang et al wurde untersucht, ob alle Nervenfasern nach einer intra-venösen Regionalanästhesie (IVRA) blockiert waren. Es konnten nach 20 Minuten keine SEP mehr erfasst werden [29]. Nicht untersucht wurde allerdings, ob die Veränderungen mit der klinischen Wirksamkeit der Regionalanästhesie korrelierten. Im Vergleich zur Arbeit von Eberhard Lang, bediente man sich in der vorliegenden Arbeit der axillären Plexusblockade, um SEP-Veränderungen zu detektieren. Es wurde überprüft, ob die Erstellung einer Referenzkurve durch Probanden sinnvoll ist. Die SEP-Veränderungen wurden auf Korrelation mit der klinischen Wirkung untersucht.

Bei der in der vorliegenden Arbeit untersuchten Patientengruppe wurden die SEP vor Anlage der Blockade, 10 Minuten und 20 Minuten nach der Blockade, sowie zur OP Freigabe bestimmt. In allen Ableitpunkten zeigte sich eine zeitabhängige Verlängerung der Latenzen, die am deutlichsten beim Potential N10 waren. Signifikant waren die Veränderungen erst nach 20 Minuten. Sowohl in der Literatur als auch in der anästhesiologischen Praxis ist bekannt, dass der Erfolg einer Regionalanästhesie erst nach ca. 20 Minuten klinisch beurteilbar ist. Dies wird auch durch die klinischen Daten dieser Studie belegt.

### **6.8 Korrelation klinischer Veränderungen mit den Veränderungen der Latenz**

Ein wesentlicher Bestandteil der Arbeit war die Evaluation einer Korrelation zwischen den Veränderungen der SEP und der klinischen Beurteilung der Blockadequalität. Differenziert wurde das Patientengut in die Gruppe der Anästhesieversager und die der erfolgreichen Blockaden. Zur Überprüfung der sensiblen und motorischen Qualität der den Arm versorgenden Nerven wurden folgende klinische Tests durchgeführt: 1. Finger-Nase-Versuch (*N. axillaris*, *N. musculocutaneus*), 2. Armstreckung (*N. radialis*), 3. Faustschluss (*N. medianus*, *N. ulnaris*), 4. Tastempfinden, 5. PinPrick, 6. Temperaturempfinden.

Als beste Methode zur klinischen Prüfung einer erfolgreichen Anästhesie des *Pl. brachialis* eignet sich nach wie vor die klinische Überprüfung der Sensibilität im Bereich des Handgelenks und des Daumengrundgelenks, da in diesen Bereichen die beschriebene Radialislücke detektiert werden kann.

Die problematische Anästhesie des *N. radialis* erklärt sich aus seinem Verlauf hinter der *A. axillaris* [15, 39,51, 58]. Der *N. radialis* innerviert motorisch die Ober- und Unterarmstrecker, sowie sensibel die dorsale und laterale Oberarmseite und die radiale Unterarmseite. Für die intraoperative Anlage eines Tourniquets ist eine ausreichende Analgesie des sensiblen Oberarmbereiches entscheidend [10, 41].

Die Ursache für die technisch schwierige Anästhesie des *N. musculocutaneus* ist in seinem anatomischen Verlauf zu suchen. Der *N. musculocutaneus* verlässt den *Plexus brachialis* sehr weit proximal, ungefähr in Höhe des Oberarmkopfes [8, 34, 51, 39]. Das bei der axillären Plexusblockade in die Axilla eingebrachte Lokalanästhetikum kann sich bei zu geringem Volumen nicht weit genug nach proximal ausbreiten. Daher sind das Beugen des Unterarmes (Finger-Nase-Versuch) und die Anteversion des Oberarmes sowie das Tastempfinden trotz Plexusanästhesie häufig noch möglich oder nur gering eingeschränkt.

Als gute Indikatoren für die Wirksamkeit einer Regionalanästhesie erwiesen sich vor allem Tests die gerade diese beiden Nerven mit einschlossen, wie der PinPrick-Test und das Temperaturempfinden.

Das Temperaturempfinden muss von allen durchgeführten klinischen Tests besonders hervorgehoben werden, da es ein reiner Sensibilitätstest ist. In dieser Studie war das Temperaturempfinden in der Gruppe der erfolgreichen Blockade nach 10 Minuten bei 16,2 %, nach 20 Minuten bei 70,9 % und zur Operationsfreigabe bei 93,5 % der Patienten aufgehoben. Die komplette Einschränkung des Temperaturempfindens war in der Versagergruppe erst nach 20 Minuten bei 11,1 % und zur OP-Freigabe bei 33,4 % der Patienten festzustellen. Die frühe Temperaturunempfindlichkeit ist der Gruppe mit guter Blockade vorbehalten. Gleiches gilt für den PinPrick-Test, welcher ebenfalls ausschließlich die Sensibilität testet. Der PinPrick-Test kann bei 3,3 % der Patienten mit erfolgreicher Blockade nach 10 Minuten, bei 67,7 % nach 20 Minuten und bei 90,3 % zur Operationsfreigabe nicht mehr differenziert werden. In der Gruppe der Blockadeversagen ist innerhalb der ersten 20 Minuten nur eine Einschränkung zu verzeichnen und erst zum Operationsbeginn ist der PinPrick-Test bei 22,2 % der Patienten nicht mehr differenzierbar. Die frühe Veränderung bzw. Unmöglichkeit des PinPrick-Tests ist in der Gruppe der erfolgreichen Blockade zu verzeichnen. In jedem Fall sprach ein kompletter früher Ausfall einer Testqualität Pin-Prick oder Temperaturempfinden für einen guten Blockadeerfolg. Ein sehr spätes Auftreten nach etwa 30 Minuten sprach für ein Versagen der Blockade.

Gleiche Ergebnisse konnte Pandin für den PinPrick-Test und das Temperaturempfinden vorweisen [38].

Letztendlich musste festgestellt werden, dass klinische Veränderungen sowohl in der Gruppe mit der erfolgreichen Regionalanästhesie als auch in der Gruppe der Blockadeversager auftraten, es aber weder durch Auswahl spezifischer Test noch durch frühere oder spätere Ausprägung der neurologischen Symptomatik möglich war, zu einem frühen Zeitpunkt sicher auf den Blockadeerfolg rückzuschließen. Deutliche Veränderungen, wie sie bei den SEP nach 20 Minuten festgestellt wurden, waren zu diesem Zeitpunkt auch klinisch nachvollziehbar, aber auch jetzt noch ohne sichere Rückschlussmöglichkeit auf den Blockadeerfolg. Der Beweis einer geglückten Blockade konnte erst bei Operationsbeginn durch die Toleranz der chirurgischen Maßnahmen erbracht werden.

### **6.9 Latenzveränderungen in Abhängigkeit von der Blockadequalität**

Nach Fokussierung der größtmöglichen Veränderungen am Potential N10 wurde in der vorliegenden Arbeit die unterschiedliche Latenzveränderung dieses Potentials für die Patienten mit gutem und mit schlechtem Erfolg der Regionalanästhesie untersucht.

Bei den Patienten mit schlechtem Blockaderfolg konnte eine geringere Latenzverlängerung in den Ableitungen der *Nn. ulnares*, sowohl nach 10 Minuten, als auch nach 20 Minuten festgestellt werden. Bei den *Nn. radiales* waren diese Veränderungen nicht so deutlich nachvollziehbar.

Die SEP des *N. radialis* sind aufgrund der fehlenden motorischen Antwort des im Handbereich rein sensiblen Nervens schwer ableitbar. Dies könnte ein möglicher Grund für die unterschiedlichen Latenzen der *Nn. radiales* und *Nn. ulnares* sein. Pantani et al. beschrieben, dass SEP effektiv zur Qualifizierung und Quantifizierung des Auftretens und des zeitlichen Verlaufes von elektrophysiologischen Veränderungen bei Plexusblockaden sind. Hier zeigte sich eine Amplitudenreduktion in diversen Ableitungen welche wie in anderen publizierten Daten als guter Indikator für eine neuronale Blockade zu werten ist [38].

Bisher gilt als bewiesen, dass eine Amplitudenreduktion von 20 % ein guter klinischer Indikator für die Wirksamkeit einer neuronalen Blockade ist. Aufgrund der schwierigen störenden Umgebungsbedingungen im OP war eine verlässliche Beurteilung der SEP-Amplituden nicht möglich. Aus diesem Grund wurde in dieser Arbeit auf die Latenzen fokussiert. Basierend auf den Erfahrungen der vorliegenden Studie und im Hinblick auf

bereits veröffentlichte Studien muss man zu dem Schluss gelangen, dass eine Latenzverlängerung zwar für eine erfolgte Nervenblockade spricht, es jedoch keine verlässliche Vorhersage über die Wirksamkeit der Blockade getroffen werden kann.

### 6.10 Erarbeitung einer Referenzkurve und Radialislücke

Ein weiteres Ziel dieser Studie war die Erstellung einer Referenzkurve, um auf eine SEP-Ausgangsmessung vor der Anlage einer axillären Plexusblockade verzichten zu können und so Zeit bis zur OP Freigabe einzusparen. Dafür wurden an 30 Probanden, bei denen einmalig die SEP der *Nn. ulnares* und *Nn. radiales* an beiden oberen Extremitäten abgeleitet wurden, die klinischen Tests zu Motorik und Sensibilität wie in der Patientengruppe durchgeführt. Um die erstellte Referenzkurve künftig nutzen zu können, musste untersucht werden, ob eine Vergleichbarkeit der Patienten und Probandengruppe gewährleistet war. Die Auswertung der biometrischen Daten schloss diesen Ansatz aus. Hinsichtlich Alter und Gewicht waren signifikante Unterschiede vorhanden, lediglich die Körpergröße war zwischen den beiden Gruppen vergleichbar. Die Ausgangs-SEP der Probanden wiesen sowohl am rechten Arm als auch am linken Arm kürzere Latenzen als in der Patientengruppe auf. Die Varianzanalyse zeigte einen Zusammenhang zwischen Alter und Gewicht der Untersuchten auf. Mögliche Einflüsse durch Vorerkrankungen in der Patientengruppe blieben unberücksichtigt. Die Patientengruppe war im Durchschnitt ca. 19 Jahre älter als die Probandengruppe. Ein Einfluss des Lebensalters auf die SEP-Latenzen und Amplituden wurde von Zumsteg und Wieser beschrieben [61]. Sie fanden heraus, dass mit zunehmendem Alter die kortikalen Latenzen der Medianus-SEP ansteigen. Die spinokorticale Überleitungszeit (N13-N20) steigt vom 4. bis zum 90. Lebensjahr stetig an. Nach Medianus-Stimulation wurde eine Amplitudenabnahme des Nackenpotenzials mit zunehmendem Alter festgestellt, während die postzentral generierten *peaks* (N20, P30 und N33) in höherem Alter eher eine Amplitudenzunahme erfahren. Befunde belegen, dass sich die Altersabhängigkeit besonders auf die kortikalen Gipfel P60 und N75 auswirken. So steigt bei weiblichen Probanden die N75 Latenz vom 20. bis zum 60. Lebensjahr um 0,22 ms, während der Anstieg für den p40 Gipfel bei denselben Probanden im Mittel nur 0,04 ms pro Jahr beträgt. Im Gegensatz zu den Befunden beim Medianus-SEP erfahren die frühen kortikalen SEP-Gipfel mit steigendem Alter eher eine Amplitudendepression, erst die Latenzen, die später als 100 ms auftreten, nehmen im höheren Alter wieder an Amplitude zu. Erwachsenenwerte werden erst im Alter von ca. 14 Jahren erreicht [61].

Die Zunahme der Latenzzeiten somatosensorischer Komponenten konnte für die untersuchte N20-Komponente von Zumsteg nachvollzogen werden [18, 61]. Die Patientengruppe hatte ein um ca. 14 kg höheres Gewicht als die Probandengruppe. Der Gewichtsunterschied kann einen möglichen Einfluss auf die SEP haben. Bei Patienten mit einem höheren BMI kann vermutet werden, dass durch den erhöhten Anteil an subkutanem Fettgewebe die Nervenstimulation herabgesetzt ist. Der erhöhte Hautwiderstand bei diesen Patienten kann möglicherweise zu einer Latenzverlängerung führen. Hierzu ließ sich keine aktuelle Literatur finden.

Der Einfluss von Pharmaka auf die SEP und dabei im Wesentlichen auf die spinalen und primär kortikalen Antworten wird immer noch kontrovers diskutiert. So verlängern beispielsweise Enflurane die frühen kortikalen SEP-Latenzen und die zentralen Überleitungszeiten und reduzieren die Amplituden fast aller zerebralen SEP-Gipfel. Fentanyl wirkt sich besonders auf die späten Medianus-Latenzen im Sinne einer Verlängerung aus. Die in diese Studie eingeschlossenen Patienten wurden alle mit Midazolam prämediziert. Es besteht die Möglichkeit, dass die Prämedikation ebenfalls für die unterschiedlichen Ausgangsbefunde im Vergleich zur Probandengruppe mit verantwortlich ist. Einen Nachweis konnte mit dem vorliegenden Studienaufbau nicht erbracht werden. Da es keine allgemeingültigen Regeln gibt, sollte bei der Befundinterpretation ein Medikamenteneinfluss immer dann diskutiert werden, wenn sonst nicht erklärbare Diskrepanzen zwischen dem SEP-Resultat und klinischer Untersuchung bestehen.

Die pathologischen Veränderungen der zu blockierenden Extremität in der Patientengruppe können ebenfalls die SEP-Unterschiede zwischen den beiden Gruppen verursacht haben. Dies wurde in der vorliegenden Studie jedoch nicht weiter untersucht.

Bei der praktischen Durchführung der SEP-Messung nahm die Präparation der Oberflächenelektroden durch altersbedingte Veränderungen in der Beschaffenheit der Kopfhaut (es wurde sehr häufig ein erhöhter elektrischer Widerstand gemessen) und eine gesteigerte Sensibilität der älteren Probanden gegenüber der mechanischen Behandlung derselben wesentlich mehr Zeit in Anspruch, als bei jungen Probanden. Bei der Datenaufnahme konnte häufig eine starke neuronale Hintergrundaktivität festgestellt werden, die das Signal/Rausch-Verhältnis der evozierten Potentiale verschlechterte. Aufgrund einer ebenfalls häufig festgestellten erhöhten Sensibilität der Probanden hohen Alters gegenüber der elektrischen Stimulation der Finger konnte die neuronale Hintergrundaktivität nur bedingt durch die Steigerung der Stimulationsintensität kompensiert werden.

Zusammenfassend konnte eine Referenzkurve für den an der Hand rein sensiblen *N. radialis* mit Hilfe einer Probandengruppe nicht erstellt werden. Um die Radialislücke frühzeitig detektieren zu können, muss in jedem Fall eine individuelle Ausgangskurve erstellt werden. Gleiches wurde durch eine Studie von Wallenborn bestätigt [55]. Die frühe Beurteilung des Einschlusses des *N. radialis* in die Blockade mit Hilfe von SEP-Veränderungen zu interpretieren, gestaltete sich aufgrund der vielfältigen Störmöglichkeiten des im Handgelenk rein sensiblen Nerven als nahezu unmöglich.

Schlussfolgernd muss zur quantitativen Beurteilung der Blockadequalität des *Pl. brachialis* mittels SEP-Ableitung für jeden Patienten eine „Basis-SEP-Kurve“ erstellt werden. Dies potenziert jedoch den zeitlichen Aufwand der SEP-Messung als diagnostisches Mittel und begrenzt dessen klinisch sinnvolle Einsetzbarkeit.

### **6.11 Klinische Relevanz und Prozessablauf**

Der Nutzen des in dieser Studie betriebenen apparativen Aufwands muss diskutiert werden. Die Vorbereitung des Patienten sowie die Ausgangsmessung nahmen etwa 25 Minuten in Anspruch. Demgegenüber benötigt ein erfahrenes Anästhesieteam für die Vorbereitung des Patienten zur Regionalanästhesie etwa 10 Minuten. Während ohne SEP-Messung der Patient nach erfolgter Plexusblockade schon in den Operationssaal geschoben werden kann, muss für eine SEP-Ableitung bis zur OP-Freigabe nochmals eine Zeit von ca. 30 Minuten veranschlagt werden. Erst dann kann der Patient die Einleitung verlassen, da die SEP-Messungen immer unter den gleichen Arbeitsbedingungen abgeleitet werden sollten. Hinzukommende bzw. nicht mehr vorhandene Störeinflüsse haben Auswirkungen auf die SEP-Messung, was die objektive Vergleichbarkeit der Messergebnisse gefährden würde. Im technischen Ablauf stellten sich die akustischen Störfaktoren, die unterschiedlich gut abgeschirmten Endverbraucher im Stromnetz, sowie die Aufregung der Patienten vor der Operation als Problem dar. Es müsste ein zusätzlicher, abgeschirmter Raum zur Verfügung stehen, in welchem man eine standardisierte SEP-Messung durchführen kann. Der Transport der Patienten zwischen Einleitung und dem Raum für die SEP-Messung bedeutet einen weiteren logistischen und zeitlichen Aufwand, der mit dem anästhesiologischen Alltag nicht vereinbar ist.

Die alleinige Veränderung der SEP zur Beurteilung der Blockadequalität reicht nicht aus. SEP müssen immer in Kombination mit klinischen Parametern überprüft werden. Bei allen untersuchten Patienten gab es nach Regionalanästhesie eine Verlängerung der Latenzen, die aber nur bei den Patienten mit erfolgreicher Regionalanästhesie signifi-



kant war. Selbst nach Fokussierung auf N10, dem Potential mit der auffälligsten Veränderung, konnte aufgrund der großen Standardabweichung kein klinischer Handlungsalgorithmus erarbeitet werden, der ab einer bestimmten Latenzverlängerung eine sichere Blockade garantiert (Abbildung 37, 38, 39, 40).

Die Latenzveränderungen beziehen sich immer auf eine zu erstellende Ausgangsmessung am Patienten, nicht auf eine Referenzkurve, die als Ausgangswert herangezogen werden kann.

Es stellte sich somit die Frage, ob es sinnvoll ist, SEP abzuleiten und die klinischen Parameter zur Erfassung der Blockadequalität zu testen, da beide Tests gleiche Ergebnisse liefern. Bei analgosedierten Patienten oder Patienten mit neurologisch-psychiatrischen Defiziten, sowie bei Kindern mit denen eine Kooperation bei den klinischen Tests zur Beurteilung der Blockadequalität nicht möglich ist, erweist sich das Ableiten der SEP als sinnvoll, um überhaupt eine Aussage zur Nervenblockade treffen zu können. Bei allen kooperativen Patienten ist das zusätzliche Ableiten von SEP zur besseren Beurteilbarkeit des Blockadeerfolges nicht indiziert, da man keine sicherere oder frühere Aussage über die Blockadequalität treffen kann. Die klinische Testung des Temperaturempfindens sowie des PinPrick-Tests sind in diesem Fall völlig ausreichend und genauso aussagekräftig wie die SEP-Ableitung.

## **6.12 Schlussfolgerung und Ausblick**

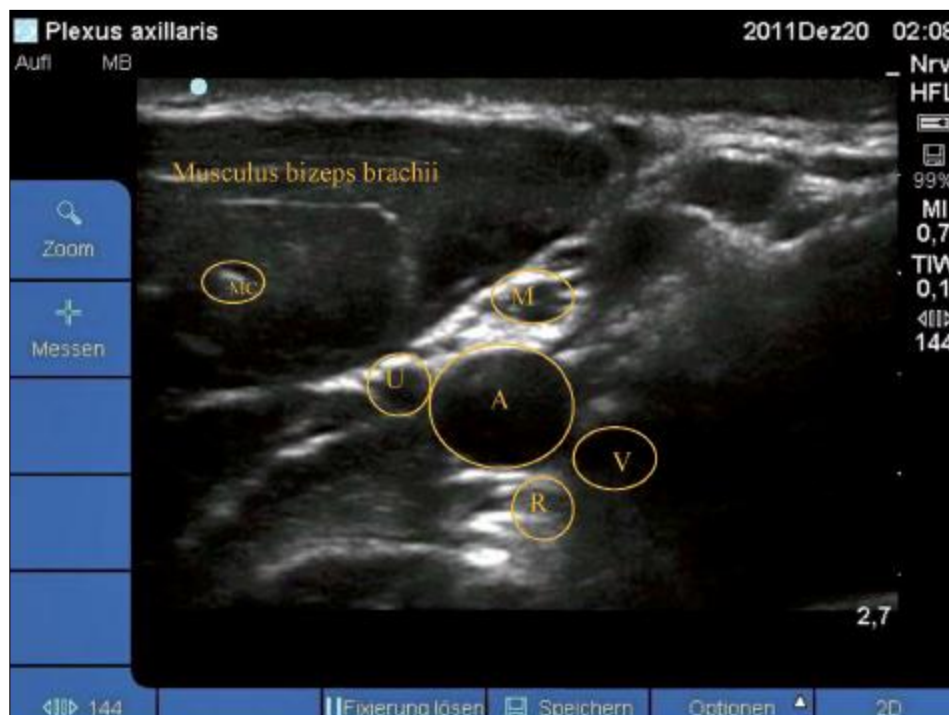
Sowohl die SEP-Messungen als auch die klinischen Tests wiesen 20 Minuten nach Plexusblockade signifikante Veränderungen auf, die auf eine erfolgreiche Plexusblockade schließen ließen. Gewissheit über den Erfolg ist trotzdem erst zum Operationsbeginn mit Beweis der chirurgischen Toleranz zu erlangen. Kein Verfahren bot einen zeitlichen Vorteil. Der erhöhte Aufwand der SEP-Ableitungen zur Plexusblockade ist in der täglichen Routine nicht sinnvoll. Allerdings kann dieses Verfahren bei Patienten mit neurologische oder psychiatrischen Defiziten sowie bei sedierten Patienten oder Kindern die Möglichkeit einer Erfolgsbeurteilung bieten, wenn eine klinische Testung der Wirksamkeit z.B. mittels Temperaturempfinden oder PinPrick-Test nicht oder nur eingeschränkt möglich ist.

SEP können durch verschiedene Medikamente, höheres Lebensalter, Gewicht, Vorerkrankungen und technische Störfaktoren beeinflusst werden. Deshalb und aufgrund großer interindividueller Unterschiede zwischen den Patienten ist die Erstellung einer Referenzkurve zur Einsparung der Ausgangsmessung nicht möglich. Die Messung der

SEP-Ausgangswerte vor jeder Plexusblockade und die Detektion der Abweichung der SEP vom Ausgangswert nach Regionalanästhesie sind zur Beurteilung der Blockadequalität obligat.

Als Standardverfahren eignet sich die SEP-Ableitung zur Beurteilung der Plexusblockade im anästhesiologischen Alltag nicht. Der zusätzliche Zeitaufwand beträgt in Abhängigkeit vom Untersucher mindestens 20 Minuten, ohne eine bessere oder frühere Prognose der Blockadequalität zu bieten. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht sind die klinischen Tests daher der SEP-Messung vorzuziehen.

Alternativ zur Nervenstimulation bei Blockade des *Pl. brachialis* steht die Methode der Nervendetektion mittels hochauflösenden Ultraschalls als neues und gut geeignetes Verfahren zur Verfügung [19, 20, 21], welches nachweislich eine deutlich kürzere Anschlagszeit aufweist als bei der Identifikation der Zielnerven mittels Nervenstimulation [4, 56]. Der deutlich beschleunigte Wirkeintritt ist Folge der exakten Platzierung des Lokalanästhetikums am Zielnerven [20, 22]. Unter Ultraschall ist die sogenannte multiple Injektionstechnik etabliert. Das heißt, alle Zielnerven werden identifiziert und solitär anästhesiert, sodass auch der *N. musculocutaneus* effektiv mitgeblockt werden kann. Dies hat zur Folge das eine „Radialislücke“ praktisch nicht oder nur sehr selten auftreten kann [48].



**Abb. 44** Ultraschallanatomie des axillären *Pl. brachii* (A Arterie, V Vene, M *N. medianus*, R *N. radialis*, U *N. ulnaris*, MC *N. musculocutaneus*)

Neben der höheren Erfolgsrate und der kürzeren Anschlagszeit der axillären Plexusblockade unter Ultraschall konnte in der Untersuchung von Schwemmer et al. ein positiver Effekt auf die Gesamtpersonalbindung nachgewiesen werden [47]. Zur Nervenblockade unter sonografischen Bedingungen sind keine erhöhten Ansprüche an die Konfiguration der Punktionsnadeln nötig. Es bedarf weder einer Isolation noch eines zuführenden Schenkels zur Stromapplikation. Dadurch kann eine deutliche Kostenersparnis erzielt werden [24]. Der hohe Investitionsaufwand für die Ultraschallgeräte ist als Nachteil zu nennen. Durch eine Mehrfachnutzung, beispielsweise für ZVK-Anlagen, intraoperative Sonografie oder den Einsatz auf Intensivstationen können diese Kosten relativiert werden [31].

Es ist zu vermuten, dass die ultraschallgestützte Plexusblockade, bedingt durch ihre klinische Effektivität, durch ihren optimalen Prozessablauf und eine mögliche Kostenoptimierung, zukünftig bei der Regionalanästhesie eine zentrale Stellung einnehmen wird. Andere, weniger effizientere Verfahren, wie Prüfung klinischer Parameter oder eine SEP-Messung könnten dadurch in den Hintergrund treten. Die Attraktivität der SEP-Messung für den Einsatz auf Spezialgebieten, wie bei analgosedierten Patienten, Kindern oder Patienten mit neurologisch-psychiatrischen Defiziten, mit denen eine Kooperation bei den klinischen Tests zur Beurteilung der Blockadequalität nicht möglich ist, wird jedoch vorerst weiterbestehen.

## 7 Zusammenfassung

Die axilläre Plexusblockade ist ein gutes anästhesiologisches Verfahren für Operationen an der oberen Extremität. Nachteile bestehen jedoch in der relativ hohen Versagerquote, welche u.a. abhängig von der Erfahrung des Anästhesisten zwischen 5 bis zu 20 % betragen kann und ein zusätzliches Anästhesieverfahren notwendig macht. Weitere Nachteile sind der größere zeitliche Aufwand und die späte Erfolgsbeurteilung dieses Verfahrens. Mittels SEP-Messung besteht die Möglichkeit, eine Nervenblockade zu evaluieren. Die frühzeitige Detektion der Radialislücke ist nicht möglich, da signifikante SEP-Veränderungen erst nach 20 Minuten nachweisbar sind. Die SEP-Veränderungen stellen sich zwar typisch für eine Plexusblockade dar, eine sichere Aussage über deren Wirksamkeit konnte jedoch zeitlich nicht vor den klinischen Veränderungen getroffen werden.

Allerdings kann bei analgosedierten Patienten, Kindern oder Patienten mit einer niedrigen bzw. fehlenden Compliance dieses Verfahren zur Blockbeurteilung die Methode der Wahl darstellen, da in diesen Fällen die Überprüfung klinischer Parameter erschwert oder unmöglich ist.

Die Probanden- und die Patientengruppe waren aufgrund vorhandener SEP beeinflussender biometrischer und klinischer Faktoren nicht vergleichbar. Um SEP zur Beurteilung der axillären Plexusblockade anwenden zu können, ist die Erstellung einer jeweils individuellen Basis-SEP-Kurve unerlässlich. Dies potenziert jedoch den zeitlichen Aufwand der SEP-Messung als diagnostisches Mittel und begrenzt deren klinisch sinnvolle Einsetzbarkeit.

Als alternatives Verfahren zur Nervenstimulation wurde in dieser Arbeit die ultraschallgestützte Punktion genannt. Laut Literatur werden hier deutlich höhere Erfolgsquoten mit kürzerer Anschlagzeit dokumentiert als bei der Nervenstimulation.

Damit trägt dieses Verfahren zur Zeit- und somit auch Kostenersparnis bei, und könnte daher zukünftig eine zentrale Rolle bei der Regionalanästhesie einnehmen.

## 8 Anhang

### 8.1 Literaturverzeichnis

1. Bartussek, E.; Fatehi, S.; Motsch, J.; Grau, T. 2004. Umfrage zur aktuellen Situation der Regionalanästhesie im deutschsprachigen Raum. Teil 1: Qualitätssicherung und Ausbildungskonzepte. *Anästhesist*, 53: 836-846
2. Burnham, P. J. 1959. Simple regional nerve block for surgery of the hand and forearm. *J.Am.Med.Assoc.*, 169: 941-943.
3. Büttner, J and Meier, G. 1999. Kontinuierliche periphere Techniken zur Regionalanästhesie und Schmerztherapie-obere und untere Extremität. pp.55-70 Bremen, Uni-Med-Verlag.
4. Chan, V. W., Perlas, A., Rawson, R., & Odukoya, O. 2003. Ultrasound-guided supraclavicular brachial plexus block. *Anesth.Analg.*, 97: 1514-1517.
5. Cooper K, Kelley H, Carrithers J., 1995. Perceptions of side effects following axillary block used for outpatient surgery. *Regional- Anesthesia*, 20: 212-216
6. Crile, GW. 1902. An experimental and clinical research into Cocain and Eucain. *J.Am.Med.Assoc.*, 38: 491-499.
7. De Jong, R. H. 1961. Axillary block of the brachial plexus. *Anesthesiology*, 22: 215-225
8. De Jong R. H. 1977. Adverse effects of local Anesthetics. *J.Am.Med.Assoc.*, 238: 1383-1385
9. Eriksson, E. 1979. Illustrated handbook in local anaesthesia. Copenhagen, Schultz Forlag:pp. 82-83
10. Gerstein J, Hoffmann v. Bandel J. 1984. Langzeiterfahrungen mit der Plexusanästhesie. 1.Akt. *Traumatol*, 14: 211-13
11. Graf, B. M. and Martin, E. 2001. Periphere Nervenblockaden. *Anästhesist*, 50: 312-322
12. Grau,T.; Fatehi,S.; Motsch,J.; Bartussek, E. 2004. Umfrage zur aktuellen Situation der Regionalanästhesie im deutschsprachigen Raum. Teil 2: Anwendung, Erfolgsraten und Techniken. *Anästhesist*, 53: 847-855

13. Greenblatt, G. M. & Denson, J. S. 1962. Needle nerve stimulatorlocator: nerve blocks with a new instrument for locating nerves. *Anesth.Analg.*, 41: 599-602
14. Hartung HJ, Osswald PM, Tolksdorf V, Bender HJ, Lutz H. 1982. Incidence of complications with plexus anesthesia. A computer assisted evaluation. *Anästhes., Intensivther., Notfallmed.*, 17: 35 – 37
15. Hempel V. 1997. Anästhesie an der oberen Extremität. Refresher Course, aktuelles Wissen für Anästhesisten; Hrsg. Deutsche Akademie für Anästhesiologische Fortbildung; Springer-Verlag
16. Hirschel, G. 1911. Die Anästhesierung des Plexus brachialis bei Operationen an der oberen Extremität. *Münch med Wschr.*, 58:1555-1556
17. Jankovic, D. 2000. Regionalblockade in Klinik und Praxis: Lehrbuch und Atlas. 2. Auflage:pp. 71-77, Berlin Wien, Blackwell Verlag.
18. Kakigi, R. & Shibasaki, H. 1991. Effects of age, gender, and stimulus side on scalp topography of somatosensory evoked potentials following median nerve stimulation. *J.Clin.Neurophysiol.*, 8(3): 320-330
19. Kapral, S. & Marhofer, P. 2002. Ultrasound in local anaesthesia. Part II: ultrasound-guided blockade of peripheral nerve channels. *Anesthesiology*, 51(12): 1006-1014
20. Kapral, S., Marhofer, P., Schrogendorfer, K., Koinig, H., Weinstabl, C., & Mayer, N. 1997. Ultrasonographic guidance improves sensory block and onset time of three-in-one blocks. *Anesth.Analg.*, 85(4): 854-857
21. Kapral, S., Retzl, G., Greher, M., & Mauritz, W. 2001. Ultrasonographic findings of the axillary part of the brachial plexus. *Anesth.Analg.*, 92: 1271-1275
22. Kapral, S., Sitzwohl, C., Greher, M., & Marhofer, P. 2004. Ultrasound guidance for infraclavicular brachial plexus anaesthesia in children. *Anesthesiology*, 59(7): 642-646
23. Kapral S, Marhofer P., Grau T. 2002. Ultraschall der Regionalanästhesie. Teil 1: Technische Entwicklungen und Grundlagen. *Anästhesist* 51: 931-937
24. Kefalianakis Fotios, 2004. Sonografie in der Anästhesie. (ISBN 3-13-139711-X), Georg Thieme Verlag, pp.37-51

25. Kilka HG, Geiger P, Mehrkens HH., 1995. Die vertikale infraclavikuläre Blockade des Plexus brachialis. *Anästhesist*, 44: 339-344
26. Koebke, J. 1997. Anatomy of the brachial plexus. *Orthopaede*, 26(7): 586-589
27. Koscielniak-Nielsen, Z. J., Horn, A., & Nielsen, P. R. 1995. Effect of arm position on the effectiveness of perivascular axillary nerve block. *Br.J.Anaesth.*, 74(4): 387-391
28. Krebs P., 1987. Die hohe kontinuierliche axilläre Plexus-brachialis –Anästhesie. *Regional Anästhesie*, 10:1-15
29. Lang, E., Erdmann, K., & Gerbershagen, H. U. 1993. Median nerve blockade during diagnostic intravenous regional anesthesia as measured by somatosensory evoked potentials. *Anesth.Analg.*, 76(1): 118-122
30. Lanz T, Wachsmuth W, *Praktische Anatomie*. Springer Verlag Berlin, Heidelberg pp. 64-77
31. Maatsch, Christine; 2009. Die interskalenäre Plexusblockade: Prospektive Qualitätsanalyse zum Vergleich der Sonografie und der Elektrostimulation. Würzburg pp. 55-56
32. Maurer, K., Lang, N., und Eckert, J. 2005. *Praxis der evozierten Potentiale.*, pp.5-64 Darmstadt, Steinkopf.
33. Mehrkens, H. H. 2000. *Tutorium periphere Regionalanästhesie*. 2.Auflage. Ulm, Rehabilitationskrankenhaus.pp 15-31
34. Moore, D. C. 1954. *Regional Block*. 1st ed. Springfield, Thomas. Pp.109-111
35. Munteanu, S, Atug, S, Narh, E, Roth, H., 1982. Die transpectorale Blockade des Plexus brachialis. *Regional-Anästhesie*, 5: 34-38
36. Neuburger, M, Rotzinger, M., and Kaiser, H. 2001. Elektrische Nervenstimulation in Abhängigkeit von der benutzten Impulsbreite. Eine quantitative Untersuchung zur Annäherung der Nadelspitze an den Nerv. *Anästhesist*, 50: 181-186
37. Niesel, H. C. 1994. *Regionalanästhesie, Lokalanästhesie, regionale Schmerztherapie*. pp. 383-402 Stuttgart, Thieme.

38. Pandin, P., Salengros, J. C., d'Hollander, A., Tchekap, C., & Vandesteene, A. 2006. Somatosensory evoked potentials as an objective assessment of the sensory median nerve blockade after infraclavicular block. *Can.J.Anaesth.*, 53(1): 67-72
39. Partridge, B. L., Katz, J., & Benirschke, K. 1987. Functional anatomy of the brachial plexus sheath: implications for anesthesia. *Anesthesiology*, 66(6): 743-747
40. Perthes, G. 1912. Über die Leitungsanästhesie unter Zuhilfenahme elektrischer Reizung. *Münch Med Wschr.*47:, 2545-2551
41. Pichelmayer, I, Galaske, W., 1978. Auswertung von 821 supraclaviculären und subaxillären Plexusanästhesien in Bezug auf Effektivität, Nebenerscheinungen und Komplikationen- unter Berücksichtigung der Ausbildungsverpflichtungen einer Medizinischen Hochschule. *Praktische Anästhesie*, 13: 469-473
42. Schmidt, E, Racenberg, E., 1981. Komplikationen und Gefahren der Plexus brachialis Anästhesie unter Berücksichtigung von Langzeitschäden. *Anäst., Intensivth., Notfallm.*, 16: 346-349
43. Schroeder, LE, Horlocker, TT, Schroeder, DR., 1996. The efficacy of axillary block for surgical procedures about the elbow. *Anesth. Analg.*, 83: 747-751
44. Schulz-Stübner, S. 2003. Plexus brachialis. *Anästhesist*, 52: 643-52
45. Schulz-Stübner. 2003. *Regionalanästhesie und Analgesie.*, pp. 114-116. Stuttgart, Schattauer.
46. Schwarz, U, Zenz, M., Strumpf, M., and Junger, S. 1998. Braucht man wirklich einen Nervenstimulator für regionale Blockaden? *Anästhesiol., Intensivmed.*, 12: 609-615
47. Schwemmer, U., Schleppers, A., Markus, C., Kredel, M., Kirschner, S., & Roewer, N. 2006. Operative management in axillary brachial plexus blocks: comparison of ultrasound and nerve stimulation. *Anesthesiology*, 55(4): 451-456
48. Schwemmer, U., Markus, C. K., Greim, C. A., Brederlau, J., & Roewer, N. 2005. Ultrasound-guided anaesthesia of the axillary brachial plexus: efficacy of multiple injection approach. *Ultraschall Med.*, 26(2): 114-119



49. Selander, D. 1977. Catheter technique in axillary plexus block. Presentation of a new method. *Acta Anaesthesiol.Scand.*, 21(4): 324-329
50. Selander, D, Edshage, S, And-Wolff, T., 1979. Paresthesia or no paresthesia? *Acta. Anaesthesiol. Scand.*, 23:27-33
51. Thompson, G. E. & Rorie, D. K. 1983. Functional anatomy of the brachial plexus sheaths. *Anesthesiology*, 59(2): 117-122
52. Thompson, AM, Newmann, RJ, Semple, JC. 1988. Brachial Plexus Anesthesia for upper limb surgery: a review of eight years' Experience. *Journal of Hand Surgery*, Vol. 13-b No 2 pp. 195-197
53. Thompson, Mike Donald 2001. Vergleich zwischen axillärer Plexusanästhesie und infraklavikulärer Plexusanästhesie bei Operationen an Arm, Hand oder Ellenbogen. *Universitätsklinik- der Ruhr Universität Bochum* pp. 58-59
54. Vester-Andersen, T., Broby-Johansen, U., & Bro-Rasmussen, F. 1986. Perivascular axillary block VI: the distribution of gelatine solution injected into the axillary neurovascular sheath of cadavers. *Acta Anaesthesiol.Scand.*, 30(1): 18-22
55. Wallenborn, J., Thieme, V., Hertel-Gilch, G., Grafe, K., Richter, O., & Schaffranietz, L. 2008. Effects of clonidine and superficial cervical plexus block on hemodynamic stability after carotid endarterectomy. *J.Cardiothorac.Vasc.Anesth.*, 22(1): 84-89
56. Williams, S. R., Chouinard, P., Arcand, G., Harris, P., Ruel, M., Boudreault, D., & Girard, F. 2003. Ultrasound guidance speeds execution and improves the quality of supraclavicular block. *Anesth.Analg.*, 97(5): 1518-1523
57. Wilson, JL, Brown, DL, Wong, GY, Ehmann, RL, Cahill, DR., 1998. Infraklavikulär brachial plexus block parasagittal anatomy important to the coracoid technique. *Anesth. Analg.*,: 87870-87873
58. Winnie AP., 1984. Perivascular techniques of brachial plexus block. pp. 353-363 *Plexus Anesthesia*, Vol. 1, Churchill, Livingston, Edinburgh/ London.
59. Winnie, AP. 1993. Plexus anaesthesia: Perivascular techniques of brachial plexus block .Vol. 1.pp:282-284 Fribourg, Swizerland, Mediglobe.

60. Yamamoto, K., Tsubokawa, T., Ohmura, S., & Kobayashi, T. 1999. The effects of arm position on central spread of local anesthetics and on quality of the block with axillary brachial plexus block. *Reg Anesth.Pain Med.*, 24(1): 36-42
61. Zumsteg, D. & Wieser, H. G. 2002. Effects of aging and sex on middle-latency somatosensory evoked potentials: normative data. *Clin.Neurophysiol.*, 113(5): 681-685

## 8.2 Danksagung

Als erstes möchte ich meinem Vater danken, dem ich diese Arbeit widme. Durch sein beharrliches Interesse an meiner Arbeit, sitze ich jetzt hier und schreibe die Danksagung.

Ich möchte mich an dieser Stelle bei meinen Eltern für ihre liebevolle und aufopfernde Aufzucht bedanken, ohne die ich nicht das wäre was ich jetzt bin.

Sie waren immer für mich da und haben gemeinsam mit meinen Geschwistern (Gunar, Johannes und Elisabeth) meine innere Ausgeglichenheit und Stärke aufgebaut und gefestigt, die ich während des Medizin-Studiums, während meiner Dissertationsarbeit und in manchen Lebenssituationen dringend gebraucht habe.

Ich bedanke mich ganz herzlich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. Dr. med. Thomas Hachenberg, denn Sie brachten mir sehr viel Geduld entgegen und sorgten mit wertvollen Ratschlägen für das Gelingen der Arbeit.

Ein besonderes Wort des Dankes möchte ich an Dr. med. Michael Hansen richten, ohne den ich niemals ein Licht am Ende der Doktorarbeit gesehen hätte. Danke für die vielen Stunden, in denen Du mir bei der Durchführung der Messungen geholfen und in denen Du auch zum 100. Mal meine Arbeit Korrektur gelesen hast.

Ein großes Dankeschön geht an Saskia Meißler für die Formatierungshilfe und das aufmerksame Korrekturlesen. Zeit ist ein großes Geschenk.

Frau Lux danke ich für die Unterstützung beim Thema Statistik und Datenverarbeitung.

Tobias Schwarz, mein Retter in der Not, wenn es um Computer, Gestaltung und optische Umsetzung ging. Tausend Dank für Deine Geduld. Ich bin echt eine Pfeife in Word.

Ich danke allen Probanden und Patienten, für die Zeit und Teilnahme an meinen Messungen.

Das beste zum Schluss!

Mein lieber Georg, ich danke Dir für deinen anspornenden Enthusiasmus. Du gabst mir Mut, Kraft und Motivation in Zeiten, in denen ich fast verzweifelte. Du ertrugst meine Launen, gabst mir Ruhe und streicheltest meinen Kopf, wenn ich gerade kurz vorm Durchdrehen war. Danke für Hugo. Er ist das tollste Geschenk.

Ich liebe Dich!

### 8.3 Erklärung

Ich erkläre, dass ich die der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität zur Promotion eingereichte Dissertation mit dem Titel

„Veränderung der somatisch evozierten Potentiale des Nervus ulnaris und Nervus radialis vor und nach axillärer Regionalanästhesie des Plexus brachialis“

in der Klinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie an der medizinischen Fakultät

„Otto-von-Guericke“ Universität Magdeburg mit Unterstützung durch Herrn Prof. Dr. Thomas Hachenberg und Herrn Dr. med. Michael Hansen

ohne sonstige Hilfe durchgeführt und bei der Abfassung der Dissertation keine anderen als die dort aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Bei der Abfassung der Dissertation sind Rechte Dritter nicht verletzt worden.

Ich habe diese Dissertation bisher an keiner in- oder ausländischen Hochschule zur Promotion

eingereicht. Ich übertrage der Medizinischen Fakultät das Recht, weitere Kopien meiner Dissertation herzustellen und zu vertreiben.

Magdeburg, den 08.03.2012

Henriette Wagner

## 8.4 Curriculum Vitae

### Persönliche Daten

Name: Wagner  
Vorname: Henriette  
Geburtstag: 03.02.1982  
Geburtsort: Greifswald  
Familienstand: ledig  
Kinder: Hugo Salloum (2Monate)  
Adresse: Nikolaistraße 39  
04109 Leipzig  
Telefon: 017621184042  
Email: [Henriette\\_Wagner@yahoo.de](mailto:Henriette_Wagner@yahoo.de)

### Studentische Laufbahn

Studentin der Humanmedizin(seit 2000)  
An der Universität „Otto von Guericke“ in Magdeburg  
Staatsexamen 01.11.2007

### Schulische Laufbahn

1988-1992: Grundschule (Magdeburg)  
1992-1995: Otto- v- Guericke Gymnasium Magdeburg  
1996-2000 Hegelgymnasium Magdeburg  
Juni 2000 Abitur

### Sprachen

Englisch fließend  
Französisch Verständigung

**Letzte Tätigkeiten**

Seit Dezember 2007 Assistenzärztin in der Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin des Klinikums Magdeburg

2009 Zusatzbezeichnung Notfallmedizin

Juni 2010- Juni 2011 Anästhesistin im Windhouk Central Hospital Namibia

Seit Juli 2011 wiederaufnahme der Tätigkeit als Assistenzärztin in der Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin des Klinikums Magdeburg

Henriette Wagner

Leipzig, 08.03.2012