

Aus der Klinik für Anästhesiologie

des Universitätsklinikums Düsseldorf

Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. B. Pannen

---

**Kortikal somatosensorisch-evozierte Potentiale während  
Wirbelsäulenoperationen bei Patienten mit  
neuromuskulärer und idiopathischer Skoliose unter  
Propofol-Remifentanil-Anästhesie**

**Dissertation**

zur Erlangung des Grades eines Doktors der  
Medizin

Der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität  
Düsseldorf

vorgelegt von

Thorsten Eisenach

2008

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen  
Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Bernd Nürnberg

Dekan

Referent: Prof. Dr. med. Peter Lipfert

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. med. Benedikt Pannen

<u>Inhaltsangabe:</u>		3
1	Einleitung	4
1.1	Pathophysiologie und Therapie der Skoliose	4
1.2	Besonderheiten der Anästhesie bei Skolioseoperationen	8
1.3	Intraoperatives Monitoring	10
1.4	Hypothese	16
2	Material und Methoden	17
2.1	Patientenkollektiv	17
2.2	Methoden	19
	2.2.1 Somatosensorisch evozierte Potentiale: anatomische und elektrophysiologische Grundlagen	19
	2.2.2 Prinzipien der SSEP-Ableitung und –Aufzeichnung	20
	2.2.3 Anästhesiologische Maßnahmen und Neuromonitoring	22
2.3	Statistik	24
3	Ergebnisse	26
4	Diskussion	29
5	Zusammenfassung	32
6	Literaturverzeichnis	34
7	Danksagung	39
8	Curriculum vitae	40

# 1 Einleitung

## 1.1 Pathophysiologie und Therapie der Skoliose

Eine Skoliose (griechisch skolios = krumm) ist eine seitliche Verbiegung der Wirbelsäule, die weder aktiv noch passiv vollständig ausgleichbar ist. Sie ist mit einer Deformierung und gleichzeitigen Verdrehung der Wirbelkörper insbesondere im Scheitel der Krümmung verbunden. Das Maß für die Stärke der Krümmung wird durch den sogenannten Cobb-Winkel angegeben<sup>1, 2</sup>. Er beschreibt den Winkel zwischen den beiden am stärksten zueinander gekippten Wirbeln ober- und unterhalb des Bogens (Neutralwirbel). Nach Anlage je einer Parallelen an Grund- oder Deckplatte der Neutralwirbel bildet der Schnittpunkt dieser Parallelen den Cobb-Winkel (Abb. 1). Je größer der Winkel, desto schwerwiegender die Skoliose.

*Abb. 1: Ermittlung des Cobb-Winkels anhand des Röntgenbildes der Wirbelsäule*



Die pathophysiologischen Veränderungen, die eine Skoliose mit sich bringen kann, sind vor allem kardiopulmonaler und neurologischer Natur. Die Seitverbiegung und Wirbelrotation im

thorakalen Bereich geht mit einer Deformation des Thorax einher, die, bei entsprechender Ausprägung, zu restriktiven Ventilationsstörungen mit reduzierter Vitalkapazität und reduzierter totaler Lungkapazität führt. Sowohl die Veränderung der Thoraxarchitektur mit der Folge der Reduktion der Compliance (Volumendehnbarkeit) der Thoraxwand, als auch die aus der Deformation von Rippen und Wirbelsäule resultierenden biomechanischen Veränderungen, haben substantielle Folgen auf die Atemmuskulatur (Zwerchfell, Zwischenrippenmuskulatur). Das Resultat ist eine Muskelschwäche mit konsekutiver Erhöhung der Atemarbeit. Dadurch kommt es vermehrt zu Atelektasen, was wiederum zu rezidivierenden pulmonalen Infekten führen kann. Bei weiterem Fortschreiten kommt es durch die chronische Hypoxämie zu einer pulmonalen Hypertonie auf dem Boden der hypoxisch-pulmonalen Vasokonstriktion (Euler-Liljestrand-Reflex) mit Ausbildung eines Cor pulmonale. Rechtsherz- und respiratorische Insuffizienz mit letalem Ausgang können bei einem thorakalen Cobb-Winkel von mehr als  $100^\circ$  resultieren<sup>3, 4</sup>. Insbesondere im Kleinkindalter ist die frühzeitige Erkennung und Behandlung einer Skoliose von herausragender Wichtigkeit. Das Thorax-Insuffizienz-Syndrom („Thorax Insufficiency Syndrome“, TIS), von Campbell et al. als die Unfähigkeit des Thorax, eine normale Atmung und ein normales Lungenwachstum zu unterstützen, definiert<sup>5</sup>, ist die Folge schwerwiegender Fehlbildungen des Thorax. Anomalien des Sternums, der Rippen (Rippenfusionen, fehlende oder überzählige Rippen) oder eine Skoliose der Wirbelsäule mit einseitiger Spangenbildung aufgrund fehlender Wachstumszonen<sup>6</sup>, führen zu kleinen Thoraxvolumina und ungenügendem Lungenwachstum. Die ausgeprägte Rigidität des Thorax mit erheblich eingeschränkter Compliance mündet in Verbindung mit der Hypoplasie des Lungengewebes in respiratorischer Insuffizienz, die zum Tod des Patienten noch weit vor dem Erreichen des 18. Lebensjahres führen kann<sup>7</sup>.

Nach Kafer<sup>8</sup> lassen sich ätiologisch folgende strukturelle Skoliosen unterscheiden:

1. Etwa 70% aller Skoliosen sind idiopathisch. Sie ist in einem hohen Maß genetisch determiniert. Man spricht von einer infantilen Form bei ihrer Entwicklung zwischen dem Neugeborenenalter und dem dritten Lebensjahr, die juvenile idiopathische Skoliose entwickelt sich zwischen dem vierten Lebensjahr und der Pubertät und die adulte Form tritt zwischen der Pubertät und dem Schluss der Wachstumsfugen auf.
2. Die kongenitale Skoliose ist häufig mit anderen Anomalien der Wirbelsäule, wie Spina bifida, verbunden und kann mit weiteren Defekten der inneren Organe, wie zum Beispiel angeborenen Herzfehlern und Nierenfunktionsstörungen assoziiert sein.
3. Die neuromuskuläre Skoliose (15%) hat eine neuropathische Genese auf dem Boden einer (infantilen) Zerebralparese, Syringomyelie, Poliomyelitis oder spinaler Muskelatrophie, die auf der Ebene der Motoneurone ihren Ursprung hat, oder einen myopathischen Ursprung durch Myopathien, wie die Duchenne-Muskeldystrophie. Ferner können die Neurofibromatose von Recklinghausen und die Friedreich'sche Ataxie zu einer Skoliose führen.
4. Mesenchymale Erkrankungen wie rheumatoide Arthritis, Marfan Syndrom, Ehlers-Danlos-Syndrom oder Osteogenesis imperfecta können ebenfalls mit einer strukturellen Skoliose vergesellschaftet sein.
5. Erkrankungen des Metabolismus des Knochens, zum Beispiel Osteoporose, Rachitis, Osteogenesis imperfecta, Homocystinurie und Morbus Paget, prädisponieren zu einer Skoliose.
6. Des Weiteren können sich Skoliosen auf dem Boden einer malignen Erkrankung durch primäre oder sekundäre Tumoren der Wirbelsäule entwickeln.
7. Direkte Traumata wie Frakturen der Wirbelsäule oder Bestrahlung begünstigen die Entwicklung einer Skoliose.

8. Schließlich können Skoliosen infektiös, bei Tuberkulose oder Osteomyelitis, bedingt sein.

Nach dem Cobb-Winkel richtet sich ebenfalls die Therapie der Skoliose. Abhängig von der Genese der Skoliose und dem Patientenalter, sollten Skoliosen unter 20° beobachtet bzw. physiotherapeutisch behandelt werden, bei einem Cobb-Winkel thorakal bis 40° beziehungsweise lumbal bis 50° ist eine Korsettbehandlung in Verbindung mit einer Physiotherapie angezeigt, bei thorakalen Skoliosen über 40° und lumbalen Skoliosen über 50° mit zu erwartender Progredienz ist eine operative Therapie angezeigt<sup>9</sup>. Allerdings sind diese Richtlinien nicht unumstritten, deshalb muss jeder Fall einzeln geprüft werden und die Indikation nach Güterabwägung gestellt werden.

Mehr als 40 Jahre nach der Entwicklung des Harrington-Instrumentariums<sup>10</sup> haben sich die chirurgischen Operationstechniken enorm weiterentwickelt. Die Wahl des Verfahrens richtet sich nach der Ätiologie, der Ausprägung der Wirbelsäulenkrümmung und der Reife des Skeletts. Mit den modernen Stabilisierungsverfahren soll nach meist partieller Aufrichtung eine Progression der Skoliose verhindert werden. Ferner soll die dreidimensionale Deformität, unter Berücksichtigung der Rigidität der Wirbelsäule und der Risiken intraoperativer neurologischer Komplikationen korrigiert werden<sup>11, 12</sup>. Der posteriore Zugang ist der am häufigsten gewählte, kombinierte posteriore und anteriore Zugänge sind vor allem bei höhergradigen und starren Skoliosen indiziert. Ein ventrales Release bildet dabei die Grundlage für die dorsale Stabilisierung, weil es erst die partielle Aufrichtung ermöglicht. Bei infantiler idiopathischer beziehungsweise kongenitaler Skoliose kommt in den letzten Jahren dem Einsatz des sogenannten VEPTR-Systems (vertical expandable prosthetic titanium rib) immer größere Bedeutung zu. Dieses in Etappen expandierbare System wird bei Kindern mit infantiler kongenitaler Skoliose eingesetzt<sup>13</sup>, um Thoraxvolumen, -symmetrie und -stabilität wiederherzustellen und ein Thoraxinsuffizienz-Syndrom zu vermeiden. Das Ziel ist, ein Wirbelsäulen- und Lungenwachstum zu gewährleisten<sup>14, 15</sup>. Das VEPTR-System distrahiert

Rippen und andere Strukturen (Rippe-zu-Rippe, Rippe-zu-Wirbelsäule, Rippe-zu-Beckenkamm) und expandiert so den gleichseitigen Hemithorax. Circa alle sechs Monate wird die Distraction im Rahmen eines kleinen Eingriffes vergrößert und ermöglicht so ein schrittweises Aufrichten und eine Adaptation an das Wachstum. Gegenüber den bisherigen Methoden der Skoliose-Chirurgie erlaubt die VEPTR-Methode eine dynamische Distraction und Wachstumsadaptation der Wirbelsäule bei einer verminderten Invasivität.

Bei Skoliose-Operationen, insbesondere der dorsalen Stabilisierung, handelt es sich um sehr ausgedehnte und traumatische Operationen in Bauch- oder Seitenlage mit erheblichem Blutverlust und, insbesondere bei intrathorakalen Eingriffen, mit entsprechenden hämodynamischen Effekten, welche besondere Anforderungen an die Anästhesie und die intraoperative kardiorespiratorische Überwachung stellt.

## 1.2 Besonderheiten der Anästhesie bei Skolioseoperationen

Die Anästhesietechnik richtet sich unter anderem nach dem gewählten Monitoring zur Beurteilung der Rückenmarksfunktion. Alle Skolioseoperationen werden in Allgemeinanästhesie durchgeführt.

Präoxygenierung ist in jedem Falle aufgrund der respiratorischen Situation vieler Patienten mit Skoliose empfehlenswert. Die Narkoseeinleitung, intravenös oder inhalativ, ist abhängig vom Zustand des Patienten und der Art und Weise der Sicherung des Atemweges (konventionelle oder fiberoptische Intubation, Platzierung eines Doppellumentubus). Besonderes Augenmerk muss auf den Gebrauch des depolarisierenden Muskelrelaxans Succinylcholin gelegt werden. Succinylcholin sollte bei Patienten mit Muskeldystrophien und anderen Muskelerkrankungen aufgrund der Möglichkeit eines durch eine Hyperkaliämie verursachten Herzstillstandes in jedem Falle vermieden werden<sup>16, 17</sup>. Auch bei Patienten mit Verletzungen des Rückenmarks und einer konsekutiven Denervierung mit der Folge einer deutlich erhöhten Anzahl nicotinerger Acetylcholinrezeptoren an, aber auch außerhalb der

motorischen Endplatte der Skelettmuskulatur, sollte aus demselben Grund auf die Applikation von Succinylcholin verzichtet werden.

Die lange Operationsdauer in Bauch- oder Seitenlage in Verbindung mit signifikantem Blutverlust, in manchen Fällen mit kontrollierter Hypotension, sowie die weitreichenden kardiopulmonalen Folgen einer ausgeprägten thorakalen Skoliose machen ein invasives intraoperatives Monitoring (arterielle Blutdruckmessung, zentraler Venenkatheter) notwendig. Durch eine invasive arterielle Blutdruckmessung ist neben der kontinuierlichen Aufzeichnung der arteriellen Druckverhältnisse die Kontrolle der Blutgase möglich, was bei Patienten mit durch die Skoliose hervorgerufenen restriktiven Ventilationsstörungen von essentieller Bedeutung ist. Diese haben häufig einen erheblichen alveolo-arteriellen Sauerstoffgradienten<sup>18</sup>, der sich durch die Narkosedauer durch regionale Hypoventilation noch verstärken kann<sup>19</sup>.

Die intraoperative Kontrolle der endtidalen Kohlendioxidkonzentration und der Beatmungsdrücke ist ebenfalls unerlässlich. Ferner ist eine engmaschige Kontrolle der Hämoglobinkonzentration indiziert, da es während der Operation durch Hämodilution und Blutverlust zu erheblichen Schwankungen kommen kann. Der Blutverlust richtet sich nach der Operationsdauer und der Anzahl der fusionierten Segmente. Murray und Kollegen berechneten den Blutverlust in den ersten 24 Stunden mit 200 ml pro Segment<sup>20</sup>. Dem hohen Blutverlust muss ebenfalls durch Anlage großlumiger Zugänge und Insertion eines zentralen Venenkatheters zur möglichen Infusion vasoaktiver Substanzen Rechnung getragen werden. Die Körpertemperatur sollte kontinuierlich gemessen und Wärmeverluste durch den Einsatz von Infusionswärmern und Wärmedecken minimiert werden<sup>19</sup>.

Ferner ist genau auf die Positionierung des Patienten zu achten, da falsche Lagerung zu erhöhtem Blutverlust und zur hämodynamischen Instabilität führen kann<sup>21</sup>.

Im Besonderen ist noch das Phänomen des Visusverlustes, meist als posteriore ischämische Opticusneuropathie (PION), in Verbindung mit Wirbelsäulenoperationen in Bauchlage zu

nennen, dessen Häufigkeit mit ca. 0,2% zwar eine seltene, jedoch umso schwerere Komplikation darstellt<sup>22</sup>. Eine Analyse von 93 Fällen postoperativer Erblindung bei Wirbelsäulenoperationen legt die Vermutung eines multifaktoriellen Geschehens nahe. Dabei scheinen niedrige Hämatokritwerte und große Blutdruckschwankungen eine besondere Rolle zu spielen. Ferner prädisponieren ein Blutverlust von 1000 ml und mehr sowie eine Anästhesiedauer von mehr als sechs Stunden, beides in mehr als 96% der Patienten mit postoperativer Erblindung der Fall, zu dieser tragischen Komplikation<sup>23</sup>.

### 1.3 Intraoperatives Neuromonitoring

Die Integrität des Rückenmarks ist während einer Skolioseoperation durch die auf die Wirbelsäule wirkenden korrigierenden Kräfte, die chirurgische Eröffnung des Spinalkanals oder ähnliche Maßnahmen gefährdet. Die Inzidenz eines motorischen Defizits oder einer Paraplegie ohne intraoperatives Neuromonitoring wird zwischen 3,7 und 6,9% angegeben<sup>24</sup>,<sup>25</sup>, wohingegen mit intraoperativem Monitoring der Rückenmarksfunktion lediglich bei 0,3 - 0,6% der Patienten neurologische Defizite beobachtet wurden<sup>26, 27, 28</sup>. Deshalb wird das intraoperative Monitoring während Skolioseoperationen nach den Richtlinien der Scoliosis Research Society als zwingend notwendig erachtet<sup>19</sup>.

Prinzipiell kann das Rückenmark durch verschiedene chirurgische Maßnahmen direkt geschädigt werden. Durch die Implantate oder die Instrumente kann es zu einer Contusio spinalis kommen. Ferner kann durch Zug oder Kompression der spinale Blutfluss gefährlich beeinträchtigt werden. Weiterhin besteht die Gefahr, dass das Rückenmark bei der Korrektur der Skoliose distrahiert wird. Auch intra- und postoperativ auftretende epidurale Hämatoome, können einer neurologischen Schädigung zugrunde liegen<sup>29</sup>.

Somit kann es also in beinahe allen Phasen der Operation durch eine Vielzahl von Mechanismen zu neurologischen Schäden kommen. Um diese zeitnah zu detektieren und rechtzeitig entsprechende Maßnahmen ergreifen zu können, ist ein intraoperatives Monitoring

der Rückenmarksfunktion mit dem Ziel der Senkung des Risikos eines postoperativen neurologischen Defizits unerlässlich. Tierexperimentell konnte ein Zeitraum von nur fünf bis sechs Minuten zwischen neurophysiologischem Korrelat bei (Über-) Distraction und permanentem neurologischen Defizit nachgewiesen werden<sup>30</sup>.

Auch postoperativ sind die Patienten noch gefährdet, was engmaschige neurologische Untersuchungen notwendig macht. So wurde bei Patienten, die initial neurologisch unauffällig waren, im Verlauf der ersten 48 Stunden eine Lähmung aufgrund einer spinalen Ischämie beobachtet<sup>29</sup>.

Prinzipiell stehen vier Möglichkeiten des intraoperativen spinalen Monitorings zur Verfügung:

#### 1. Sprunggelenks-Clonus-Test

Dabei handelt es sich um den historisch gesehen ältesten Test zur intraoperativen Kontrolle der Rückenmarksfunktion. Durch ausgeprägte Dorsalflexion im oberen Sprunggelenk wird ein Clonus ausgelöst, dessen Ausbleiben eine Rückenmarksschädigung vermuten lässt. Im Falle einer Rückenmarksverletzung kommt es zu einem spinalen Schock, das heißt zu einer schlaffen Lähmung in Verbindung mit einer Arreflexie. Der Sprunggelenks-Clonus-Test ist einfach durchzuführen und seine Befürworter betonen seine hohe Sensitivität (100%) und Spezifität (99,7%)<sup>31</sup>. Die Ergebnisse einer Studie der Arbeitsgruppe um Ewen widersprechen jedoch diesen Werten. In dieser Untersuchung an mit Sevofluran oder Isofluran anästhesierten, gesunden Kindern wurde in der Aufwachphase einminütlich ein Sprunggelenks-Clonus-Test durchgeführt. Bei nur 24% der Sevoflurangruppe und nur 27% der Isoflurangruppe war ein bilateraler, anhaltender Clonus auszulösen, welches die Autoren den Schluss einer zu geringen Spezifität folgern lässt<sup>32</sup>.

Dieser Test lässt sich jedoch nur über einen kurzen Zeitraum während der Vertiefung der Anästhesie nach Narkoseeinleitung oder während des Aufwachens durchführen.

Beim wachen, neurologisch gesunden Patienten ist der Clonus aufgrund hemmender, kortikaler Einflüsse nicht auszulösen. Die Abwesenheit des Clonus nach Dorsalflexion im oberen Sprunggelenk kann also nicht nur das Resultat einer Rückenmarksschädigung sondern auch von zu flacher oder zu tiefer Narkose sein. Andererseits schließt eine positive Reflexantwort ein neurologisches Defizit nicht aus, da durch den Clonus nur die den Beugereflex im oberen Sprunggelenk repräsentierenden Abschnitte als intakt bewertet werden können, eine Verletzung anderer Teile des Rückenmarks jedoch stattgefunden haben kann. Der Test scheint insbesondere deshalb bedenklich, da er eine sehr flache Narkose erfordert und damit das Risiko einer intraoperativen Wachheit oder gar starker Schmerzen besteht.

## 2. Stagnara-Aufwachtest

Dieser erstmals 1973 von Vauzelle und Stagnara beschriebene Test<sup>33</sup> beurteilt die funktionelle Integrität der motorischen Bahnen (Motorneurone und Muskulatur), eine Bewertung des peripheren sensiblen Systems ist jedoch nicht möglich. Voraussetzung für diesen Test ist ein kooperativer Patient, der auf Aufforderung nach Abflachen der Narkosetiefe und nach Sicherstellung, dass keine neuromuskuläre Blockade mehr vorliegt, die obere oder untere Extremität beziehungsweise einen Teil dieser bewegt. Kommt der Patient dieser Aufforderung nach, wird die Narkose vertieft und die OP fortgeführt, kann er dieser nicht entsprechen, müssen entsprechende Maßnahmen ergriffen werden, die bis zur Entfernung allen eingebrachten Stabilisierungsmaterials reichen können.

Der Stagnara-Aufwachtest birgt neben der Voraussetzung eines kooperativen Patienten die Nachteile der möglichen akzidentellen Extubation in Bauchlage. Weiterhin erfordern die Phasen des Aufwachens und der anschließenden Narkosevertiefung einen gewissen Zeitraum. Zusätzlich ist eine valide Beurteilung der funktionellen Integrität der motorischen Bahnen zu eben nur diesem speziellen

Zeitraum möglich, speziell vor dem Hintergrund, dass ein bleibendes neurologisches Defizit erst nach mehr als 20 Minuten nach der letzten Korrekturmaßnahme elektrophysiologisch messbar werden kann<sup>30</sup>. Auch bei diesem Test besteht das Risiko für den Patienten, die Situation intubiert, mit eröffnetem Rücken auf dem Bauch liegend bewusst zu erleben und erinnern zu können. Zusammenfassend sollte also der Aufwachtest den Situationen vorbehalten bleiben, bei denen elektrophysiologische Meßmethoden nicht verfügbar sind, diese scheitern oder mehrdeutige Messergebnisse keine genaue Auskunft über die neurologische Situation geben.

### 3. Motorisch-evozierte Potentiale (MEP)

Das Monitoring mit motorisch-evozierten Potentialen wird seit nunmehr fast 20 Jahren klinisch eingesetzt<sup>34</sup>. Der Stimulationsort (motorischer Kortex, Rückenmark), die Stimulationsmethode (magnetisch oder elektrisch) und der Detektionsort (Rückenmark, gemischter peripherer Nerv, Muskel) definieren die Technik dieser neurophysiologischen Messmethode. Durch Stimulation des Kortex wird unter Einbeziehung der motorischen Rückenmarksbahnen eine Antwort im Effektorgebiet generiert und aufgezeichnet. Werden die motorischen Bahnen intraoperativ kompromittiert, resultiert daraus eine Amplitudenreduktion und Latenzverlängerung oder gar ein komplettes Ausbleiben der Reizantwort. Die aufgezeichneten Signale werden in myogene Reizantworten, als Summenaktionspotential im Muskel, und nervale Reizantworten, entsprechend als Summenaktionspotential des peripheren Nerven oder des Rückenmarks, unterteilt. Der große Vorteil der elektromyographischen (EMG) Aufzeichnung liegt in ihrer großen Amplitude, nachteilig ist die ausgeprägte Variabilität der Morphologie. Ausschlaggebend für die Aufzeichnung und Qualität des EMG ist der Grad der neuromuskulären Blockade. Eine komplette neuromuskulärer Blockade macht eine EMG-Aufzeichnung unmöglich, auf eine neuromuskuläre Relaxierung sollte deshalb nach Möglichkeit

verzichtet werden. Hingegen können nervale Reizantworten unabhängig vom Grad der neuromuskulären Blockade aufgezeichnet werden.

Leider lässt die Zuverlässigkeit des MEP-Monitoring bei Patienten mit vorbestehendem neurologischem Defizit zu Wünschen übrig<sup>35</sup>. Des Weiteren kann es trotz erhaltener MEP postoperativ zu neurologischen Defiziten<sup>36</sup>, d.h. auch mit dieser technisch anfälligen Methode lässt sich keine Sensitivität von 100% erreichen.

#### 4. Somatosensorisch-evozierte Potentiale (SSEP)

Somatosensorisch-evozierte Potentiale werden durch die Stimulation eines peripheren Nerven (meist Nervus tibialis posterior, N. peroneus, N. suralis oder N. medianus) und durch Detektion mittels Elektroden kranial vom Operationsgebiet (cervicale Processus spinosi, sensibler Kortex) erhoben. Nach dem Hautschnitt wird unter stabiler Anästhesietiefe eine erste Messung gemacht. Diese dient als Referenz für alle folgenden Messungen, die hinsichtlich Amplitude und Latenz mit dieser verglichen werden. Eine Amplitudenreduktion um 50% und eine Verlängerung der Latenz um 10% werden als signifikant angesehen<sup>37, 28</sup>.

SSEP-Monitoring schließt den peripheren Nerven, den Tractus dorsomedialis (Fasciculus gracilis et cuneatus) und, in Abhängigkeit von der Elektrodenposition, den sensiblen Kortex ein. Die motorischen Bahnen und die anterolateral verlaufenden sensiblen Bahnen sind jedoch nicht direkt eingeschlossen. Bei pathologischen SSEP sind aber auch die motorischen Anteile häufig mitbetroffen sind. Hingegen kann es beim Arteria-spinalis-anterior-Syndrom zu einer Hypoperfusion und Ischämie der kortikospinalen motorischen Bahnen trotz erhaltener SSEP kommen, da der Tractus dorsomedialis im Versorgungsgebiet der Arteriae spinales posteriores liegt<sup>38, 39, 40</sup>.

SSEP-Monitoring gilt zurzeit als das Standardverfahren der intraoperativen neurophysiologischen Überwachung der Rückenmarksfunktion. Seine große Zuverlässigkeit mit einer Sensitivität von 92% und einer Spezifität von 98,9%<sup>28</sup> führen

zu einer frühen Detektion intraoperativer neurologischer Komplikationen. Nuwer und Kollegen berechneten den Anteil falsch negativer Ergebnisse (unauffällige SSEP während der Operation mit postoperativem neurologischem Defizit) an einer Gesamtzahl von mehr als 51.000 Prozeduren mit 0,127% oder 1:787. Der Anteil falsch positiver Ergebnisse (signifikante SSEP-Änderung ohne postoperatives neurologisches Defizit) betrug in derselben Studie 1,51% oder 1:67<sup>28</sup>.

Die Zuverlässigkeit kortikal somatosensorisch-evozierter Potentiale (SSEP) bei Patienten mit einer neuromuskulären Skoliose ist wiederholt in Frage gestellt worden<sup>41, 42, 43</sup>. Bei bis zu 30 % der Patienten mit neuromuskulärer Skoliose waren keine reliablen Potentiale abzuleiten. Dieses Phänomen beruht unter anderem auf der häufig mangelhaften kortikalen Ableitbarkeit der SSEP bei diesem Patientenkollektiv. Zusätzlich sind die motorischen Reizantworten zum Teil von schlechter Qualität im Sinne einer sehr niedrigen Amplitude<sup>41, 42, 44</sup>. Diese Patienten haben jedoch ein besonders hohes Risiko eines postoperativen neurologischen Defizits<sup>45</sup>. Es ist allerdings anzumerken, dass die oben genannten Untersuchungen zur schlechten Ableitbarkeit beziehungsweise Reliabilität der Potentiale bei Patienten mit neuromuskulärer Skoliose unter einer Anästhesie mit volatilen Anästhetika durchgeführt wurden.

Alle volatilen Anästhetika wie Halothan, Enfluran<sup>46</sup>, Isofluran<sup>47</sup>, Sevofluran<sup>48</sup>, Desfluran<sup>49, 50</sup> und Lachgas<sup>51</sup> reduzieren die SSEP-Signale. Sie führen dosisabhängig zu einer Verlängerung der Latenz und zu einer Verringerung der Amplitude.

Die Arbeitsgruppen um Boisseau und Liu konnten jedoch durch einen Vergleich von Sevofluran respektive Isofluran mit Propofol zeigen, dass Propofol in klinisch relevanten Dosierungen keinen<sup>48</sup>, oder einen erheblich geringeren Effekt<sup>47</sup> auf kortikale SSEP hat. Beide Arbeitsgruppen empfehlen den Gebrauch von Propofol als kontinuierliche Infusion im Falle intraoperativen SSEP-Monitorings. Ferner berichten Scheepstra und Kollegen, dass eine Propofoldosis von 2,5 mg/kg/h zu keiner Änderung der Amplitude der kortikal und

subkortikal abgeleiteten SSEP nach Stimulation des Nervus medianus führt. Die Latenz verlängerte sich lediglich um 8%<sup>52</sup>.

#### 1.4 Hypothese

In der vorliegenden Studie wurde die Hypothese überprüft, dass kortikale SSEP unter totaler intravenöser Anästhesie (TIVA) mit Propofol und Remifentanyl sowohl bei idiopathischen als auch bei neuromuskulären Skoliosen mit derselben Zuverlässigkeit abgeleitet werden können.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Patientenkollektiv

In diese prospektive, nicht-randomisierte Studie wurden insgesamt 54 Patienten, die sich einer Skolioseoperation unterzogen, eingeschlossen. Das Einverständnis des Patienten oder der Erziehungsberechtigten wurde eingeholt. Die Datenerhebung fand über einen Zeitraum von vier Jahren statt. 27 Patienten hatten eine idiopathische, weitere 27 eine neuromuskuläre Skoliose. Die Patienten mit neuromuskulärer Skoliose teilten sich wie folgt auf:

- 13 Patienten mit infantiler Zerebralparese, einer meist frühkindlich durch Asphyxie erworbenen Hirnschädigung.
- Vier Patienten mit Rett-Syndrom, der häufigsten Form der genetisch bedingten mentalen Retardierung bei Mädchen, verursacht durch einen Defekt im x-chromosomal kodierten MeCP2-Gen, das mit der Ausbildung einer neuromuskulären Skoliose einhergehen kann.
- Drei Patienten mit spinaler Muskelatrophie, einer durch progredienten Untergang der  $\alpha$ -Motoneurone im Vorderhorn des Rückenmarks hervorgerufenen symmetrischen, schlaffen Muskellähmung mit konsekutiver Muskelatrophie
- Weitere zwei Patienten waren von der Muskeldystrophie Typ Duchenne betroffen. Bei der zu den Dystrophinopathien zählenden Muskeldystrophie Typ Duchenne handelt es sich um einen x-chromosomal-rezessiv vererbten Synthesedefekt des zur Bindung von Aktin an  $\beta$ -Dystroglykan essentiellen Proteins Dystrophin. Sie stellt die häufigste muskuläre Erbkrankheit im Kindesalter dar und endet, meist im jungen Erwachsenenalter, tödlich.
- Bei einem Patienten war ein Hirntumor der Grund für die Skoliose.
- Bei einem weiteren lag eine vorangegangene Meningoenzephalitis der Skoliose zugrunde.

- Ein Patient hatte eine Neuropathie vom Typ Charcot-Marie-Tooth, eine hereditäre motorische und sensible Neuropathie, die autosomal-dominant vererbt wird. Sie ist charakterisiert durch eine progressive distal-betonte Muskelhypotrophie, die jedoch auch generalisiert auftreten kann.
- Bei zwei weiteren Patienten mit neuromuskulärer Skoliose war die Ursache der neuromuskulären Dysbalance und der Skoliose unbekannt.

Tabelle 1 zeigt die demographischen Daten des Patientenkollektivs, unterteilt in Alter und Geschlecht, ASA-Status, Körpergewicht und Art der durchgeführten Operation. Bei der ASA-Klassifikation handelt es sich um ein 1963 von der American Society of Anesthesiologists vorgeschlagenes Schema zur Einteilung von Patienten in verschiedene Gruppen bezüglich Vorerkrankungen und Einschränkung verschiedener Organsysteme. Sie dient zur Einschätzung des perioperativen Risikos und wird in fünf Klassen eingeteilt (ASA I-V).

**Tab. 1:** *Kenndaten der Patienten ausgedrückt als Mittelwert (Standardabweichung) oder Median [Spannweite] oder Zahlenwert*

	<b>Idiopathische Skoliose (n=27)</b>	<b>Neuromuskuläre Skoliose (n=27)</b>
Alter (Jahre)	14 [2-20]	14 [6-19]
Geschlecht (m/w)	6/21	16/11
ASA-Status	2 [1-3]	3 [1-4]
Körpergewicht (kg)	45,7 (13,7)	34,8 (13,9)
Art der Operation (n)		
posteriore Instrumentierung	19	26
VEPTR	5	1
endoskopische Instrumentierung	2	0
anteriore Fusion	1	0

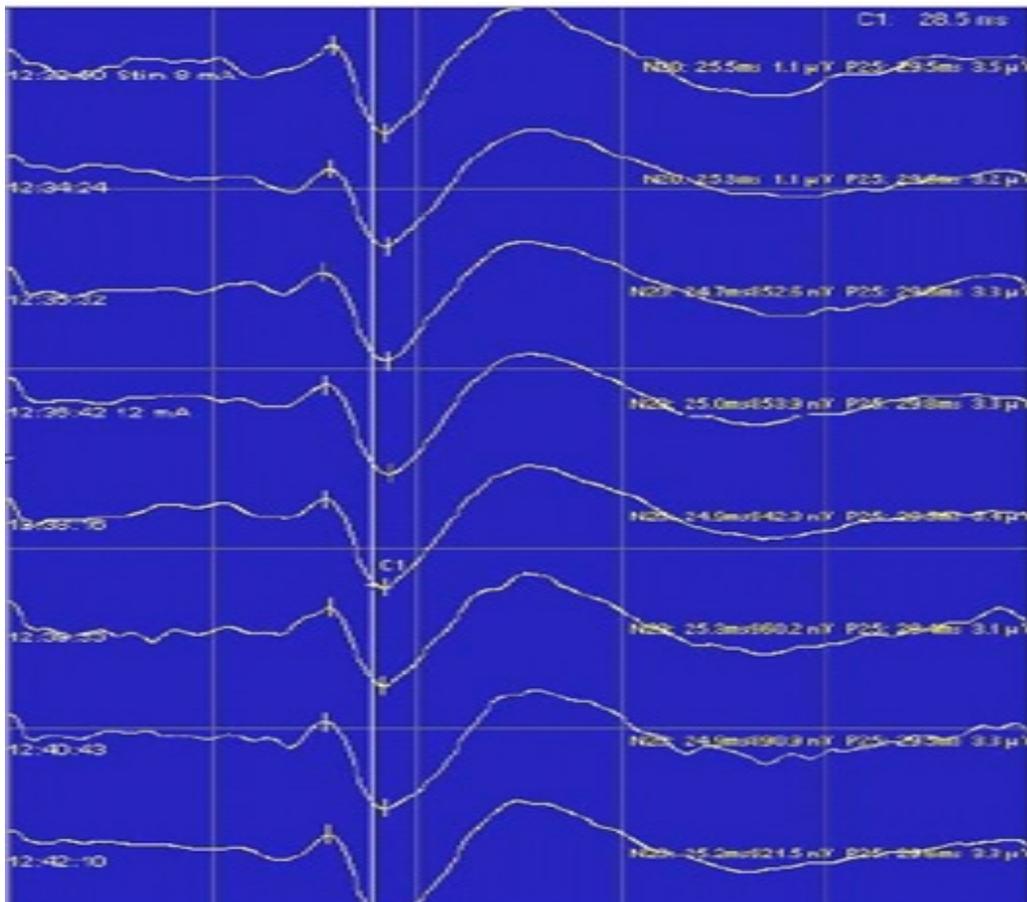
## 2.2 Methoden

### 2.2.1 Somatosensorisch evozierte Potentiale: anatomische und elektrophysiologische Grundlagen

Das somatosensorisch evozierte Potential repräsentiert zeitabhängig die elektrische Aktivität kortikaler und subkortikaler Strukturen auf einen peripheren Stimulus. Das kortikale somatosensorisch evozierte Potential hat eine im Vergleich zum Elektroenzephalogramm (50-100  $\mu\text{V}$ ) kleine Amplitude mit 1-2  $\mu\text{V}$ . Der als Funktion der Spannung gegen die Zeit aufgetragene Graph besteht aus einer Abfolge positiver und negativer Wellen, die durch die Amplitude, das heißt die Potentialdifferenz zwischen den maximal positiven und maximal negativen Ausschlägen des Potentials ausgedrückt in Mikrovolt ( $\mu\text{V}$ ), Das Intervall zwischen Stimulus und Maximalwert der Reizantwort in Millisekunden (ms) wird als Latenz bezeichnet. Weiterhin kann auch die Morphologie der Potentiale beurteilt werden. Bei Stimulation des peripheren Nerven mittels Oberflächen- oder Nadelelektroden, für intraoperative SSEP-Ableitungen meist Nervus medianus oder Nervus tibialis posterior, pflanzt sich der Impuls nach peripher und zentral fort. Bei intraoperativen Monitoring ist dabei nur die retrograde Erregung nach zentral von Interesse. Über das Neuron erster Ordnung, dessen Zellkörper im Hinterwurzelganglion liegen, gelangt der Impuls über die Hinterstrangbahnen des Rückenmarks im Fasciculus gracilis (untere Extremität) und Fasciculus cuneatus (obere Extremität) in den Hirnstamm. Dort geschieht die Verschaltung auf das Neuron zweiter Ordnung in den Nuclei gracilis et cuneatus. Nach Kreuzung des zweiten Neurons auf die Gegenseite gelangt es im Lemniscus medialis in den Nucleus ventralis posterolateralis des kontralateralen Thalamus, in dem die Verschaltung auf das Neuron dritter Ordnung geschieht. Via Capsula interna erreicht der Impuls schließlich den somatosensiblen Kortex im Gyrus postcentralis des Schläfenlappens (Lobus parietalis). Durch die im anterioren Rückenmark aufsteigenden Tractus spinocerebellaris anterior et posterior

kommt es zu einer rostralen Übertragung der SSEP, sodass prinzipiell eine umfassende Beurteilung des sensiblen Systems durch somatosensorisch evozierte Potentiale möglich ist.

Abb. 2: Morphologie der SSEP nach Stimulation des linken Nervus medianus

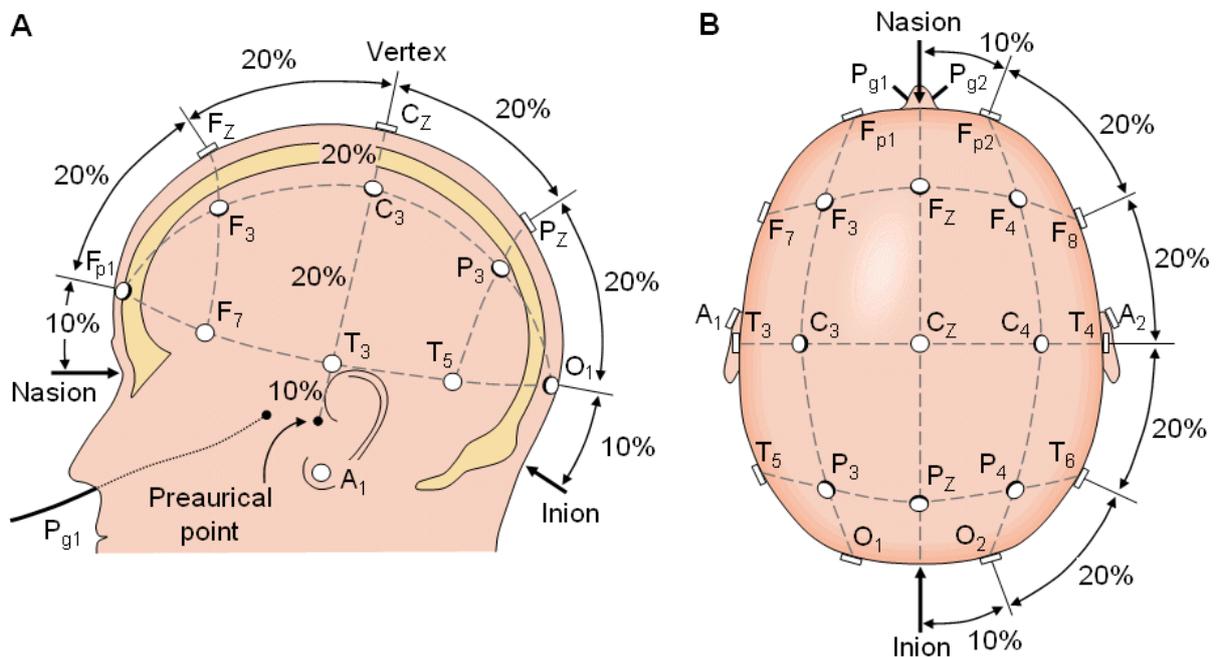


## 2.2.2 Prinzipien der SSEP-Ableitung und –Aufzeichnung

Die Ableitung der SSEP ist nach peripherer Stimulation zuerst in der Fossa poplitea (Stimulation des N. tibialis posterior) oder dem Erb'schen Punkt oberhalb der Clavicula (Stimulation des N. medianus) möglich. Spinale Potentiale, die über den zervikalen und lumbalen Processus spinosi detektiert werden, spiegeln die Fortleitung der Impulse über das Rückenmark wider. Über dem zweiten Halswirbelkörper lässt sich die subkortikale Komponente des SSEP (N-14) ca. 14 ms nach Stimulation des Nervus medianus ableiten, der somatosensorische Kortex generiert ca. 20 ms nach Stimulation des N. medianus (N-20) und

ca. 40 ms nach Stimulation des N. tibialis posterior den frühen Anteil des kortikalen SSEP (P-40). Die zentrale Überleitungszeit als neurophysiologisches Korrelat der Übertragung des Signals von der zervikomedullären Ebene auf Höhe der Nuclei cuneatus et gracilis zum kontralateralen somatosensiblen Kortex, ergibt sich aus der Differenz der Latenzen von N-20 und N-14.

Abbildung 3: EEG-Elektrodenplatzierung nach dem 10-20 System



Bei der Ableitung und Aufzeichnung von SSEP werden lediglich Spannungsdifferenzen gemessen. Die Darstellung der Potentiale erfolgt bei negativer Spannung nach oben und bei positiver Spannung nach unten. Die Signalverarbeitung ist durch den Verstärkungsgrad, die obere (Tiefpassfilter = Hochfrequenzfilter) und die untere (Hochpassfilter = Tieffrequenzfilter) Grenzfrequenz charakterisiert, wobei der Verstärkungsfaktor in Dezibel (dB) angegeben wird. Unbedingte technische Voraussetzung ist ein möglichst kleiner Übergangswiderstand zwischen Elektroden und Haut ( $< 5 \text{ k}\Omega$ ), was die Benutzung von Nadelelektroden nötig macht. Durch die Verwendung eines Differentialfilters führen

differierende Widerstände zu stark verfälschten Signalen. Da die Amplitudendifferenzen nur wenige Mikrovolt ( $\mu\text{V}$ ) betragen, ist aufgrund des schlechten Signal-zu-Rauschen-Verhältnisses eine Mittelung über viele Reize notwendig.

### 2.2.3 Anästhesiologische Maßnahmen und Neuromonitoring

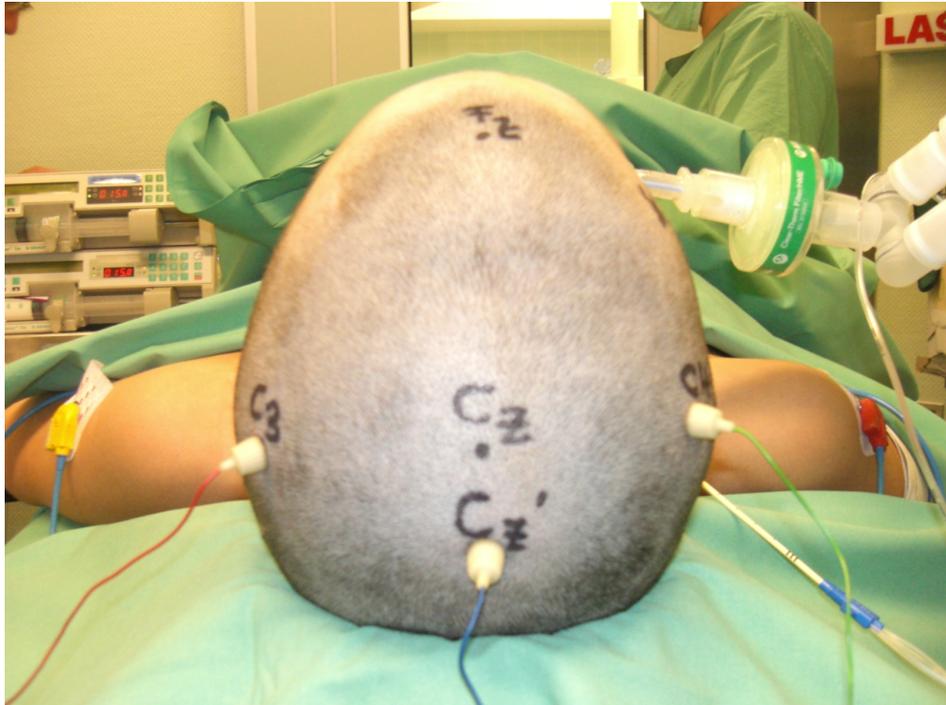
Die Narkoseführung war bei allen Patienten standardisiert. Nach Anlage einer Venenverweilkanüle wurde mit Propofol ( $2 \text{ mg kg}^{-1}\text{KG}$ ) und Remifentanyl ( $1 \mu\text{g kg}^{-1}\text{KG}$ ) eingeleitet und die Narkose durch kontinuierliche Infusion von  $6 \text{ mg kg}^{-1}\text{h}^{-1}\text{KG}$  Propofol und  $0,2 - 0,4 \mu\text{g kg}^{-1}\text{KG min}^{-1}$  Remifentanyl aufrechterhalten. Die Anästhesie wurde durch Steigerung der Infusionsrate von Remifentanyl bei Bedarf vertieft. Um Probleme bei der Extubation zu vermeiden, wurde auf die pharmakologische neuromuskuläre Blockade bei diesem per se kompromittierten Patientenkollektiv verzichtet, es wurden zu keinem Zeitpunkt Muskelrelaxantien verabreicht. Nach der Narkoseeinleitung wurden eine arterielle Kanüle, ein zentraler Venenkatheter und ein Urinkatheter platziert. Während der Operation wurde auf Normothermie unter Zuhilfenahme von Wärmedecken und Infusionswärmern geachtet, Blutgase und Hämoglobinkonzentration wurden in regelmäßigen Abständen kontrolliert. Der invasiv gemessene arterielle Mitteldruck wurde über  $50 \text{ mm Hg}$  gehalten, falls notwendig mit Hilfe einer Infusion von Noradrenalin. Der mit einer Sauerstoffkonzentration von  $50\%$  beatmete Patient wurde so ventiliert, dass ein arterieller Kohlendioxidpartialdruck zwischen  $36$  und  $40 \text{ mm Hg}$  resultierte.

Die kortikalen SSEP wurden durch wechselweise Stimulation des Nervus tibialis posterior sowie beider Nervi mediani mittels Nadelelektroden (Impulsdauer  $0,5 \text{ ms}$ , Frequenz  $4,3 \text{ Hz}$ , Spannung  $20 \text{ mA}$ ) aufgezeichnet.

Durch in den Positionen Cz' (drei Zentimeter posterior von Cz), C3 und C4 platzierte Korkezieherelektroden (Nicolet Biomedical, Madison WI, USA; Impedanz  $< 3 \text{ k}\Omega$ ) mit Fz

als Referenz (11), wurden die evozierten Potentiale unter Verwendung eines Bandfilters (20 Hz bis 20 kHz) abgeleitet.

*Abb. 4: EEG-Elektrodenposition am Patienten*



*Abb. 5: Patient nach Lagerung und Positionierung der Elektroden*



250 evozierte Potentiale wurden über einen Analysenzeitraum von je 100 ms gemittelt. Die über dem Nervus medianus evozierten Potentiale dienten zur Kontrolle der Narkose und der hämodynamischen Schwankungen als mögliche Einflussgrößen auf die Stimulation. Die Referenzmessungen wurden nach Narkoseeinleitung bei Erreichen einer ausreichenden Narkosetiefe gemacht.

### 2.3 Statistik

Die Kriterien für eine signifikante Änderung des Signals waren die Reduktion der Amplitude auf weniger als 50% oder eine Verlängerung der Latenz um mehr als 10% oder die Kombination aus beiden der oben genannten Kriterien. Trafen diese Kriterien zu und konnten technische Probleme ausgeschlossen werden, wurden nach Möglichkeit der Blutdruck und die Hämoglobinkonzentration erhöht sowie der Operateur informiert. Persistierten die SSEP-Veränderungen weiterhin, wurde, soweit möglich, ein Stagnara-Aufwachtest zur Überprüfung der Beinmotorik gemacht<sup>33</sup>. Die Klassifikation der Messdaten erfolgte nach Szalay et al<sup>53</sup>.

Bezüglich der im Folgenden genannten Verfahren des intraoperativen Monitorings bedarf es noch der genauen Erklärung der statistischen Begriffe Sensitivität und Spezifität.

Die Sensitivität bezeichnet die Wahrscheinlichkeit, einen tatsächlich positiven Sachverhalt durch ein positives Testergebnis zu erkennen. Sie gibt den Anteil der richtig als positiv (richtig positiv) erkannten Sachverhalte an der Gesamtheit der in Wirklichkeit positiven Sachverhalte an. Mit der Falschnegativ-Rate (Rate der fälschlich als negativ (falsch negativ) erkannten Sachverhalte) addiert sich die Richtigpositiv-Rate zu 100% der tatsächlich positiven Sachverhalte.

$$P(\text{positiv erkannt/ tatsächlich positiv}) = \frac{\text{Anzahl der richtig positiven}}{\text{Anzahl der richtig positiven} + \text{Anzahl der falsch negativen}}$$

Die Spezifität bezeichnet die Wahrscheinlichkeit, einen tatsächlich negativen Sachverhalt durch ein negatives Testergebnis zu erkennen. Sie gibt den Anteil der richtig als negativ (richtig negativ) erkannten Sachverhalte an der Gesamtheit der in Wirklichkeit negativen Sachverhalte an. Mit der Falschpositiv-Rate (Rate der fälschlich als positiv (falsch positiv) erkannten Sachverhalte) addiert sich die Richtignegativ-Rate zu 100% der tatsächlich negativen Sachverhalte.

$$P(\text{negativ erkannt/ tatsächlich negativ}) = \frac{\text{Anzahl der richtig negativen}}{\text{Anzahl der richtig negativen} + \text{Anzahl der falsch positiven}}$$

Richtig positive Messungen wurden definiert als eine Änderung der Morphologie, die vermutlich im Zusammenhang mit der Operation stehen. Falsch positive Werte waren SSEP-Veränderungen, die auf andere Ursache als die Distraction der Wirbelsäule zurückgeführt werden konnten (z.B. Hypotonie die zu SSEP-Veränderungen an allen Extremitäten führten). Richtig negativ waren die Fälle, die unveränderte Kurvenformen ohne postoperative neurologische Defizite aufwiesen. Falsch negativ waren solche Fälle, bei denen trotz unveränderter Kurvenmorphologie, ein neurologisches Defizit postoperativ beobachtet wurde. Die Inzidenzen der so kategorisierten Testresultate wurden zwischen den beiden Gruppen mittels Fishers exaktem Test verglichen. Die Amplituden der Messdaten der beiden Gruppen wurden mit Hilfe des Student-t-test analysiert, wobei ein  $P < 0,05$  als signifikant betrachtet wurde. Die Daten wurden als Mittelwerte mit Standardabweichung oder Mediane mit der entsprechenden Spannweite dargestellt.

### 3 Ergebnisse

Bei 48 von 54 Patienten konnten reproduzierbare kortikale SSEP abgeleitet werden (88,9%). Die demographischen Daten der Patienten sind in Tabelle 1 dargestellt. In der Gruppe der Patienten mit idiopathischer Skoliose konnten in 25 von 27 Fällen reproduzierbare Potentiale aufgezeichnet werden (92,6%), während dieses bei 23 von 27 Patienten mit neuromuskulärer Skoliose möglich war (85,2%) ( $p=0,67$ ). In der Gruppe der Patienten mit zentraler Lähmung in 12 von 13 Fällen (92,3%) verwertbare Messergebnisse erhoben werden. Die Ableitbarkeit von SSEP war altersunabhängig. In keinem Fall kam es postoperativ zu neurologischen Defiziten.

Die Amplituden der SSEP der Patienten mit neuromuskulärer Skoliose unterschieden sich statistisch nicht von denen der Patienten mit idiopathischer Skoliose. Ferner war bei beiden Gruppen die durchschnittliche maximale Amplitudenreduktion mit 20 bis 32% gleich groß (Tabelle 2). Die Klassifikation der Messergebnisse erfolgte nach Szalay und Kollegen<sup>53</sup>. Auch diese Kriterien betreffend gab es keine statistischen Unterschiede (Tabelle 3).

*Tab. 2: perioperative Amplituden der kortikalen SSEP ( $\mu V$ ) des linken und des rechten Nervus tibialis posterior prä- und postoperativ und die minimalen Amplituden intraoperativ dargestellt als Mittelwerte (Standardabweichung)*

	<u>präoperative</u> <u>Amplitude</u>		<u>minimale Amplitude</u>		<u>postoperative</u> <u>Amplitude</u>	
	li. N. tibialis	re. N. tibialis	li. N. tibialis	re. N. tibialis	li. N. tibialis	re. N. tibialis
idiopathische S.	2,0 (1,4)	2,2 (1,3)	1,6 (1,4)	1,6 (1,1)	2,1 (1,4)	1,9 (1,1)
neuromuskuläre S.	1,8 (1,3)	1,6 (1,3)	1,3 (1,2)	1,1 (1,2)	1,6 (1,2)	1,3 (1,2)
P-Wert	0,5	0,29	0,35	0,29	0,13	0,14

Bei zwei Patienten mit neuromuskulärer Skoliose reduzierte sich die Amplitude auf weniger als 50% vom Ausgangswert und konnte mit bestimmten Maßnahmen während des chirurgischen Eingriffs in Verbindung gebracht werden. Ausgelöst durch das Korrekturmanöver, kam es bei einem 16-jährigen Jungen mit Muskeldystrophie Typ Duchenne, zu einem signifikanten Abfall der Amplitude, bei einem 15-jährigen mit Zerebralparese konnte eine Verminderung der Amplitude beim sublaminaren Vorschieben des Implantates beobachtet werden. Gleichmaßen kam es bei einem 16-jährigen Patienten mit idiopathischer Skoliose nach dem Aufrichten zu einer Amplitudenreduktion. Nach Korrektur der operativen Maßnahmen erholten sich alle Potentiale wieder. In zwei der drei als richtig positiv detektierten Fälle, wurde ein intraoperativer Aufwachttest durchgeführt, der keine Besonderheiten bot, während dieser bei dem Patienten mit Zerebralparese durch seine ausgeprägte geistige Retardierung nicht durchgeführt werden konnte. Die Potentiale blieben bis zum Ende der Operation stabil, der neurologische Zustand blieb, verglichen mit dem präoperativen Bild, unverändert.

Bei den als falsch positiv klassifizierten Patienten mit neuromuskulärer (n = 4) Skoliose lag ursächlich eine vorübergehende hypotone Phase (auf 30 – 50 mm Hg abgefallener mittlerer arterieller Druck) vor, denn die Potentiale normalisierten sich nach Anhebung des Blutdruckes durch Volumengabe und/oder Katecholamintherapie wieder. Während der Operation eines Patienten kam es zu einer massiven Blutung, die eine signifikante Amplitudenreduktion zur Folge hatte. Die Transfusion von Blutprodukten führte zu einer Rückkehr der Potentiale auf ihr ursprüngliches Niveau.

Ein weiterer Patient musste aufgrund eines Kreislaufversagens reanimiert werden, was zu einer signifikanten Depression der Potentialamplitude führte. Nach erfolgreicher Kreislaufstabilisierung nahmen die SSEP wieder präoperative Werte an<sup>54</sup>.

In beiden Fällen falsch positiv gemessener Ableitungen in der Gruppe der idiopathischen Skoliosen war ebenfalls eine vorübergehende hypotone Phase (Abfall des mittleren arteriellen

Drucks auf 40 mm Hg) verantwortlich, nach deren Normalisierung sich die Potentialmorphologie auf ihrem ursprünglichen Niveau stabilisierte.

*Tab. 3: Klassifikation der SSEP-Messungen nach Szalay et al<sup>53</sup>*

	<b>neuromuskuläre Skoliose</b>	<b>idiopathische Skoliose</b>	<b>Summe aller Patienten</b>
falsch positiv	4	2	6
falsch negativ	0	0	0
richtig positiv	2	1	3
richtig negativ	17	22	39
nicht reproduzierbar	4	2	6
<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>54</b>

## 4 Diskussion

Die Messung kortikaler SSEP während Wirbelsäulenoperationen war, sowohl bei Patienten mit neuromuskulärer, als auch bei denen mit idiopathischer Skoliose, in gleicher Weise darstellbar, effektiv und zuverlässig, möglicherweise als Folge der Narkose mit Propofol und Remifentanyl.

Die Überwachung der Rückenmarksfunktion wird durchgeführt, um neurologische Komplikationen durch chirurgische Korrektur der Wirbelsäulendeformität zu vermeiden<sup>19</sup>. Weil die Inzidenz einer neurologischen Verschlechterung bei operativer Korrektur neuromuskulärer Skoliosen höher ist, was eine größere Vulnerabilität des Rückenmarks oder schwierigere Operationsverhältnisse der Patienten aus dieser Gruppe vermuten lässt<sup>55</sup>, ist das intraoperative Monitoring der Rückenmarksfunktion von essentieller Bedeutung, vor allen Dingen dann, wenn Faktoren, wie eine ausgeprägte geistige Retardierung, einen intraoperativen Aufwachtest sinnlos machen. Bisher ist die Aussagekraft der Überwachung der Rückenmarksfunktion, speziell kortikaler SSEP bei Patienten mit neuromuskulärer Skoliose, wiederholt in Frage gestellt worden<sup>7, 41, 42, 56</sup>.

Während einer balancierten Anästhesie waren in nahezu 30% der Fälle die kortikalen SSEP, die bei Patienten mit neuromuskulärer Skoliose abgeleitet wurden, hinsichtlich der Morphologie von schlechter Qualität oder nicht ableitbar<sup>41, 42, 44</sup>. Im Vergleich zu diesen Ergebnissen erhielten wir bei fast 90% unserer Patienten zuverlässige Messdaten, ohne Unterschiede zwischen Skoliosen neuromuskulärer oder idiopathischer Genese.

Die naheliegendste Erklärung dieser deutlichen qualitativen Steigerung des Neuromonitorings ist die Durchführung einer standardisierten Propofol-Remifentanyl-Anästhesie, deren geringerer Einfluss auf das Monitoring von SSEP bereits nachgewiesen wurde<sup>47, 48, 58</sup>. Man könnte dagegenhalten, dass ein kürzer wirksames volatiles Anästhetikum, wie zum Beispiel Desfluran, einen geringeren Einfluss auf das Neuromonitoring während Skolioseoperationen hat, jedoch wirkt Desfluran genauso deprimierend auf die SSEP-Amplitude wie Isofluran<sup>49</sup>.

Weil das Risiko einer postoperativen neurologischen Verschlechterung im Falle nicht ableitbarer evozierter Potentiale besonders groß ist<sup>45</sup>, ist zuverlässiges Neuromonitoring unerlässlich.

Die Ableitung subkortikaler SSEP ist bei Patienten mit neuromuskulärer Skoliose durch die epidurale Platzierung von Elektroden zuverlässig durchführbar. Diese Art und Weise der Ableitung ist ebenfalls probat und, in Bezug auf die geringere Sensibilität auf volatile Anästhetika, den kortikal abgeleiteten evozierten Potentialen sogar überlegen<sup>59</sup>. Jedoch liegen die Vorteile kortikaler SSEP in der relativ einfachen Anwendung, der Lage der Elektroden außerhalb des Operationsfeldes, dem relativ geringen Risiko und den größeren Amplituden und größerem Signal-Rausch-Verhältnis<sup>56</sup>.

Weil der Effekt der Anästhetika auf die synaptische Übertragung erheblich größer als auf den axonalen Transport ist, sind aus polysynaptischen Systemen resultierende Registrierungen anfälliger bezüglich des Einflusses von Narkosemedikamenten. Aus diesem Grund ist das kortikale SSEP-Monitoring vulnerabler als spinal oder subkortikal abgeleitete Signale<sup>60</sup>. Gerade deswegen sollte auf Medikamente mit einem möglichst geringen Einfluss auf die SSEP zurückgegriffen werden. Diesbezüglich haben zahlreiche Studien gezeigt, dass SSEP-Monitoring unter Propofol erheblich zuverlässiger und der Einfluss auf Amplitude und Latenz deutlich geringer ist, als unter volatilen Anästhetika wie Sevofluran<sup>48</sup>, Isofluran<sup>47</sup> und Lachgas<sup>58</sup>, was den Gebrauch von Propofol bei geplanter neurophysiologischer Überwachung des Rückenmarks favorisiert. In der einzigen Studie, die einen vergleichbaren Einfluss von Propofol mit einer Sevofluran-/Lachgas-Narkose auf das SSEP-Monitoring zeigte<sup>61</sup>, wurde die Narkosetiefe ausschließlich klinisch beurteilt, andere Studien mit einer anhand des bispektralen Index kontrollierten Narkosetiefe jedoch belegten den im Gegensatz zu volatilen Anästhetika geringen beziehungsweise fehlenden Effekt von Propofol auf die SSEP<sup>47, 48</sup>. Die Arbeitsgruppe um Pathak zeigte in ihren Untersuchungen eine nur geringe Depression der SSEP-Amplitude durch Opiate, wobei deren Bolusgabe einen größeren Einfluss hinsichtlich

Amplitudenreduktion und –variabilität hat, als die kontinuierliche Infusion von Opiaten<sup>62</sup>.  
Verglichen mit der Kombination aus Fentanyl und Lachgas, reduziert Remifentanyl die Amplitude kortikal abgeleiteter SSEP in einem geringeren Maße und mit geringerer Variabilität<sup>63</sup>.

In unserer Untersuchung konnten zufriedenstellende SSEP-Ableitungen sowohl bei Patienten mit idiopathischer als auch mit neuromuskulärer Skoliose unter Propofol-Remifentanyl-Narkose aufgezeichnet werden. Wir konnten zeigen, dass das kortikale SSEP-Monitoring auch bei Patienten mit neuromuskulärer Skoliose in gleicher Weise sensitiv und spezifisch ist. Da aber gerade die Patienten mit neuromuskulärer Skoliose besonders gefährdet sind, perioperativ ein neurologisches Defizit zu erleiden, sollten sie unter standardisierter totaler intravenöser Anästhesie ebenso ein Neuromonitoring erhalten.

## 5 Zusammenfassung

Während Skolioseoperationen kann es durch das operative Vorgehen zu Funktionsstörungen des Rückenmarks und permanenten postoperativen Defiziten kommen. Aus diesem Grund wird das intraoperative Neuromonitoring mittels kortikal somatosensorisch-evozierter Potentiale (SSEP) während ausgedehnter Wirbelsäulenoperationen von den entsprechenden Fachgesellschaften empfohlen. Die Praktikabilität und Zuverlässigkeit kortikaler SSEP wurde jedoch bei neuromuskulären Skoliosen wiederholt in Frage gestellt. Daher verglichen wir die Durchführbarkeit kortikaler SSEP bei Patienten mit idiopathischer und neuromuskulärer Skoliose unter einer Anästhesie mit Propofol und Remifentanyl, die bekanntermaßen einen nur geringen Einfluss auf die Aufzeichnung von SSEP hat.

Die Untersuchungen wurden in standardisierter Propofol-Remifentanyl-Narkose durchgeführt. Die kortikalen SSEP der Nervi mediani et tibiales posteriores wurden bei 54 Patienten, die sich einer Skolioseoperation unterzogen, aufgezeichnet. Siebenundzwanzig Patienten litten unter einer idiopathischen, weitere 27 unter einer neuromuskulären Skoliose. Die Anzahl reproduzierbarer Ergebnisse und intraoperativer Veränderungen beider Gruppen wurde verglichen.

In beiden Gruppen konnten die kortikalen SSEP mit hinreichender Zuverlässigkeit abgeleitet werden. Bei nur zwei Patienten mit idiopathischer Skoliose und vier Patienten mit neuromuskulärer Skoliose konnten keine reproduzierbaren Daten aufgezeichnet werden. Die Amplituden der Gruppe mit neuromuskulärer Skoliose waren durchschnittlich niedriger als die des Patientenkollektivs mit idiopathischer Skoliose, jedoch ohne statistische Signifikanz. Der neurologische Status aller Patienten blieb postoperativ auf demselben Niveau wie vor der Operation. Die Anzahl falsch positiver und richtig positiver Messergebnisse zeigte im Vergleich beider Patientenkollektive keinen Unterschied.

Die Beurteilung der kortikalen SSEP war während Wirbelsäulenoperationen bei idiopathischen und neuromuskulären Skoliosen in gleicher Weise effektiv, was möglicherweise ein Resultat der Propofol-Remifentanyl-Anästhesie war.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Cobb JR. Outline for the study of scoliosis. In: Instructional Course Letters. American Academy of Orthopaedic Surgeons. Mosby, St. Louis, USA, 1948; 261-75
2. Salem MR, Klowden AJ. Anesthesia for Orthopedic Surgery. In: Gregory GA, Hrsg. Pediatric Anesthesia. Churchill Livingstone, New York, USA, 2002; 617-61
3. Pehrsson K, Larsson S, Oden A, Nachemson A. Long-term follow-up of patients with untreated scoliosis. A study of mortality, causes of death, and symptoms. *Spine* 1992; 17: 1091-6
4. Weinstein SL, Dolan LA, Spratt KF, Peterson KK, Spoonamore MJ, Ponseti IV. Health and function of patients with untreated idiopathic scoliosis. A 50 year natural history study. *JAMA* 2003; 289: 559-67
5. Campbell RM, Smith MD, Mayes TC, Mangos JA, Willey-Courand DB, et al. The characteristics of Thoracic Insufficiency Syndrome associated with fused ribs and congenital scoliosis. *J Bone Joint Surg [Am]* 2003; 85: 399-408
6. Mc Master MJ, Ohtsuka K. The natural history of congenital scoliosis. *J Bone Joint Surg [Am]* 1982; 64: 1128-41
7. Dimeglio A. Growth of the spine before age 5 years. *J Pediatr Orthop, Teil B*, 1993; 1: 102-7
8. Kafer ER. Respiratory and cardiovascular functions in scoliosis and the principles of anesthetic management. *Anesthesiology* 1980; 52: 339-51
9. Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und orthopädische Chirurgie und Berufsverband der Ärzte für Orthopädie (Hrsg.). Leitlinien der Orthopädie. Deutscher Ärzteverlag, 2. Auflage, Köln, 2002
10. Harrington P. Treatment of scoliosis: Correction and internal fixation by spinal instrumentation. *J Bone Joint Surg [Am]* 1962; 44: 592-610
11. Ogilvie JW. Historical Aspects of Scoliosis. Aus: Winter RB, Bradford DS, Lonstein JE, Ogilvie JW, Hrg.. *Moe's Textbook of Scoliosis and other Spinal deformities*, dritte Auflage. WB Saunders Company. Philadelphia, USA, 1995; 1-4
12. Winter RB, Lonstein JR. Juvenile and Adolescent Scoliosis. Aus: Herkowitz H, Garfin SR, Balderstone RA, Eismont FJ, Bell GR, Wiesel SW, Hrg.. *Rothman-Simeone, The Spine*, vierte Auflage. WB Saunders Company, Philadelphia, USA, 1999: 325-372
13. Campbell RM, Smith MD, Hell-Vocke AK. Expansion thoracoplasty: the surgical technique of opening-wedge thoracostomy. *J Bone Joint Surg [Am]* 2004; 86 (Anh. 1): 51-64
14. Campbell RM, Hell-Vocke AK. Growth of the thoracic spine in congenital scoliosis after expansion thoracoplasty. *J Bone Joint Surg [Am]* 2003; 85: 409-420
15. Campbell RM, Smith MD, Mayes TC, Mangos JA, Willey-Courand DB, et al. The effect of opening wedge thoracostomy on thoracic insufficiency syndrome associated with fused ribs and scoliosis. *J Bone Joint Surg [Am]* 2004; 86- A(8): 1659-1674

16. Genever EE. Suxamethonium-induced cardiac arrest in unsuspected pseudohypertrophic muscular dystrophy. *Br J Anaesth* 1971; 43: 984-6
17. Solares G, Herranz JL, Sanz MD. Suxamethonium-induced cardiac arrest as an initial manifestation of Duchenne muscular dystrophy. *Br J Anaesth* 1986; 58: 576
18. Kafer ER. Idiopathic scoliosis: gas exchange and the age dependence of arterial blood gases. *J Clin Invest* 1976; 58: 825-33
19. Raw DA, Beattie JK, Hunter JM. Anaesthesia for spinal surgery in adults. *Br J Anaesth* 2003; 91: 886-904
20. Murray DJ, Forbes RB, Titone MB, Weinstein SL. Transfusion management in pediatric and adolescent scoliosis surgery: Efficacy of autologous blood. *Spine* 1997; 22: 2735-40
21. Hermanns H, Lipfert P, Stevens MF. Assessment of somatosensory evoked potentials during resuscitation of a 15 y old boy with Duchenne muscular dystrophy. *Resuscitation*. 2006 Jun; 69(3): 521-4
22. Stevens WR, Glazer PA, Kelley SD, Lietmann TM, Bradford DS. Ophthalmic complications after spine surgery. *Spine* 1997; 22: 1319-24
23. Lee, LA, Roth S, Posner KL, Cheney FW, Caplan RA, Newman NJ, Domino KB. The American Society of Anesthesiologists Postoperative Visual Loss Registry: Analysis of 93 Spine Surgery Cases with Postoperative Visual Loss. *Anesthesiology* 2006; 105:652-9
24. Epstein NE, Danto J, Nardi D. Evaluation of intraoperative somatosensory-evoked potential monitoring during 100 cervical operations. *Spine* 1993; 18: 737-47
25. Meyer PR jr, Cotler HB, Giresan GT. Operative neurological complications resulting from thoracic and lumbar spine internal fixation. *Clin orthop* 1988; 237: 125-31
26. Mooney J, Bernstein R, MacEwen GD. Neurologic risk management in scoliosis surgery. *J Pediatr Orthoped* 2002; 22: 683-689
27. Winter R. Neurologic safety in spinal deformity surgery. *Spine* 1997; 22: 1527-1533
28. Nuwer M, Dawson E, Carlson L, Kanim L, Sherman J. Somatosensory evoked potential spinal cord monitoring reduces neurologic deficits after scoliosis surgery: results of a large multicenter survey. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1995; 96: 6-11
29. Bridwell K, Lenke L, Baldus C, Blanke K. Major intraoperative neurological deficits in pediatric and adult spinal deformity patients: Incidence and etiology at one institution. *Spine* 1998; 23: 324-331
30. Owen JH, Naito M, Bridwell KH, Oakley DM. Relationship between duration of spinal cord ischaemia and postoperative neurologic deficits in animals. *Spine* 1990; 15: 846-51
31. Hoppenfeld S, Gross A, Andrews C, Lonner B. The ankle clonus test for assessment of the integrity of the spinal cord during operations for scoliosis. *J Bone Joint Surg Am* 1997; 79: 208-12

32. Ewen A, Cox RG, Davies SA, Luntley JB, Rubin Y, Fick G, Bart BB. The akle clonus test is not a clinically useful measure of spinal cord integrity in children. *Can J Anesth* 2005; 52:5: 524-9
33. Vauzelle C, Stagnara P, Jouvinroux P. Functional monitoring of spinal cord activity during spinal surgery. *Clin Orthop* 1973; 93:173-8
34. Edmonds HJ, Paloheimo MP, Backmann MH, et al. Transcranial magnetic motor evoked potential (tcMMEP) for functional monitoring of motor pathways during scoliosis surgery. *Spine* 1989; 14: 683-6
35. Herdmann J, Lumenta CB, Huse KOW. Magnetic stimulation for monitoring of motor pathways in spinal procedures. *Spine* 1993; 18: 551-9
36. Minahan RE, Sepkuty JP, Lesser RP, et al. Anterior spinal cord injury with preserved neurogenic 'motor' evoked potentials. *Clin Neurophysiol* 2001; 112: 1442-50
37. Dawson EG, Sherman JE, Kanim LEA, Nuwer MR. Spinal cord monitoring. Results of the Scoliosis Research Society and the European Spinal Deformity Survey. *Spine* 1991; 16 [Suppl.]: 361-4
38. Ben-David, B, Haller G, Taylor P. Anterior spinal fusion complicated by paraplegia. A case report of a false negative somatosensory-evoked potential. *Spine* 1987; 12: 536-9
39. Ginsburg HH, Shetter AG, Raudzens PA. Postoperative paraplegia with preserved intraoperative somatosensory evoked potentials. *J Neurosurg* 1985; 63: 296-300
40. Pelosi L, Jardine A, Webb JK. Neurological complications of anterior spinal surgery for kyphosis with normal somatosensory evoked potentials. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1999; 66: 662-4
41. Ashkenaze D, Mudiyan R, Boachie-Adjei O, Gilbert C. Efficacy of spinal cord monitoring in neuromuscular scoliosis. *Spine* 1993;18: 1627-33
42. Owen J, Sponseller P, Szymanski J, Hurdle M. Efficacy of multimodality spinal cord monitoring during surgery for neuromuscular scoliosis. *Spine* 1995; 20: 1480-8
43. Ecker M, Dormans J, Schwartz D, Drummond D, Bulman W. Efficacy of spinal cord monitoring in scoliosis surgery in patients with cerebral palsy. *J Spinal Disord* 1996; 9: 159-64
44. Owen J. The application of intraoperative monitoring during surgery for spinal deformity. *Spine* 1999; 24: 2649-62
45. Thuet E, Padberg A, Raynor B, Bridwell K, Riew K, Taylor B, et al. Increased risk of postoperative neurologic deficit for spinal surgery patients with unobtainable intraoperative evoked potential data. *Spine* 2005; 30: 2094-103
46. Peterson DO, Drummond JC, Todd MM. Effects of halothane, enflurane, isoflurane, and nitrous oxide on somatosensory evoked potentials in humans. *Anesthesiology* 1986; 65: 35-40

47. Liu EHC, Wong HK, Chia CP, Lim HJ, Chen ZY, Lee TL. Effects of isoflurane and propofol on cortical somatosensory evoked potentials during comparable depth of anesthesia as guided by bispectral index. *Br J Anesth* 2005; 94: 193-7
48. Boisseau N, Madany M, Staccini P, Armando G, Martin F, Grimaud D, et al. Comparison of the effects of sevoflurane and propofol on cortical somatosensory evoked potentials. *Br J Anesth* 2002; 88: 785-9
49. Bernard J-M, Fayet G, Guiheneuc P. Effects of isoflurane and desflurane on neurogenic motor- and somatosensory-evoked potential monitoring for scoliosis surgery. *Anesthesiology* 1996; 85: 1013-9
50. Schindler E, Müller M, Zickmann B, Osmer C, Woznoak G, Hempelmann G. Modulation of somatosensory evoked potentials under various concentrations of desflurane with and without nitrous oxide. *J Neurosurg Anesthesiol* 1998; 10: 218-23
51. Schwartz DM, Schwartz JA, Pratt RE Jr, Wierzbowski LR, Sestokas AK. Influence of nitrous oxide on posterior tibial nerve cortical somatosensory evoked potentials. *J Spine Disord* 1997; 10: 80-6
52. Scheepstra GL, deLange JJ, Booij LH, Ross HH. Median nerve evoked potentials during propofol anaesthesia. *Br J Anaesth* 1989; 62: 92-4
53. Szalay E, Carollo J, Roach J. Sensitivity of spinal cord monitoring to intraoperative events. *J pediatr Orthop* 1986; 6: 437-41
54. Hermanns H, Lipfert P, Stevens MF. Assessment of somatosensory evoked potentials during resuscitation of a 15 y old boy with Duchenne muscular dystrophy. *Resuscitation*. 2006 Jun;69(3):521-4
55. Tucker S, Nordeen MH, Pitt M. Spinal cord monitoring in neuromuscular scoliosis. *J Pediatr Orthop B* 2001; 10: 1-5
56. Lubicky J, Spadaro J, Yuan H, Frederickson B, Henderson N. Variability of somatosensory cortical evoked potential monitoring during spinal surgery. *Spine* 1989; 14: 790-8
57. Padberg A, Russo M, Lenke L, Bridwell K, Komanetsky R. Validity and reliability of spinal cord monitoring in neuromuscular spinal deformity surgery. *J Spinal Disord* 1996; 9: 150-8
58. Langeron O, Vivien B, Paqueron X, Saillant G, Riou B, Coriat P, et al. Effects of propofol, propofol-nitrous oxide, and midazolam on cortical somatosensory evoked potentials during sufentanil anaesthesia for major spinal surgery. *Br J Anaesth* 1999; 82: 340-5
59. Sebel P, Erwin CW, Neville W. Effects of halothane and enflurane on far and near field somatosensory evoked potentials. *Br J Anaesth* 1987; 59: 1492-6
60. Banoub M, Tetzlaff J, Schubert A. Pharmacologic and physiologic influences affecting sensory evoked potentials: implications for perioperative monitoring. *Anesthesiology* 2003; 99: 716-37
61. Ku KSW, Hu Y, Irwin MG, Chow B, Gunawardene S, Tan EE, et al. Effect of sevoflurane/nitrous oxide versus propofol anaesthesia on somatosensory evoked

potential monitoring of the spinal cord during surgery to correct scoliosis. *Br J Anaesth* 2002; 88: 502-7

62. Pathak KS, Brown RH, Cascorbi HF, Nash CL Jr. Effects of fentanyl and morphine on intraoperative somatosensory cortical-evoked potentials. *Anaesth Analg* 1984; 63: 833-7
63. Samra S, Dy E, Welch K, Lovely L, Graziano G. Remifentani- and fentanyl-based anesthesia for intraoperative monitoring of somatosensory evoked potentials. *Anaesth Analg* 2001; 92: 1510-5

## 7 Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. Peter Lipfert, Chefarzt der Abteilung für Anästhesie und Intensivmedizin des Krankenhauses Düsseldorf-Benrath, gilt mein besonderer Dank für die Überlassung des Themas und die Unterstützung zur Ermöglichung dieser Arbeit.

Herrn Dr. med. Markus Florian Stevens, DEAA, Oberarzt der Abteilung für Anästhesiologie des Academisch Medisch Centrum Amsterdam, für seine exzellente Unterstützung in allen praktischen und theoretischen Belangen der Arbeit, sowie die fruchtbare Diskussion der Ergebnisse.

Herrn Dr. med. Henning Hermanns, Klinik für Anästhesiologie des Universitätsklinikums Düsseldorf, für seine Ideen und seine jederzeit konstruktive Kritik.

## 8 Curriculum vitae

### **Persönliche Daten**

Name	Thorsten Eisenach
Geboren	20. Dezember 1968 in Stuttgart-Bad Cannstatt
Familienstand	verheiratet mit Jasmin Djawaheri-Eisenach, geb. 02.01.1970, geb. Djawaheri-Saattchi, zwei Kinder, Luica Roja Eisenach, geb. 03.01.2005, und Vincent Saven Eisenach, geb. 03.01.2005
Eltern	Wilfried Eisenach Inge Eisenach, geb. Beckmöller
Geschwister	Corinna Bachmann, geb. Eisenach Sven Eisenach

### **Schulbildung**

1975 – 1979	Kappenbusch-Grundschule, 59073 Hamm
1979 – 1989	Gymnasium Hammonense, 59065 Hamm
10.05.1989	Erlangung der Allgemeinen Hochschulreife

### **Hochschulbildung**

1990 – 1997	Studium der Humanmedizin an der Georg-August-Universität Göttingen, Famulaturen an der Georg-August-Universität Göttingen, am Pius Hospital, Ochtrup, und am Townsville General Hospital, Queensland, Australien, Praktisches Jahr in Göttingen
11.11.1997	Ärztliche Prüfung

### **Berufstätigkeit**

1989 – 1990	Krankenpflegeausbildung an der staatlich anerkannten Zentralschule für Krankenpflege Dortmund-Süd, 44263 Dortmund
1993 – 1997	studentische Hilfskraft auf der anästhesiologischen Intensivstation 0112 des Universitätsklinikums Göttingen
seit 02.01.1998	Mitarbeiter der Klinik für Anästhesiologie des Universitätsklinikums Düsseldorf
02.07.1999	Approbation als Arzt
17.07.2003	Anerkennung als Facharzt für Anästhesiologie
seit 01.08.2007	Oberarzt der Klinik für Anästhesiologie des Universitätsklinikums Düsseldorf

## **Zusammenfassung (Abstract)**

### **Kortikal somatosensorisch-evozierte Potentiale während Wirbelsäulenoperationen bei Patienten mit neuromuskulärer und idiopathischer Skoliose unter Propofol-Remifentanil-Anästhesie**

Während Skolioseoperationen kann es durch das operative Vorgehen zu Funktionsstörungen des Rückenmarks und permanenten postoperativen Defiziten kommen. Aus diesem Grund wird das intraoperative Neuromonitoring mittels kortikal somatosensorisch-evozierter Potentiale (SSEP) während ausgedehnter Wirbelsäulenoperationen von den entsprechenden Fachgesellschaften empfohlen. Die Praktikabilität und Zuverlässigkeit kortikaler SSEP wurde jedoch bei neuromuskulären Skoliosen wiederholt in Frage gestellt. Daher verglichen wir die Durchführbarkeit kortikaler SSEP bei Patienten mit idiopathischer und neuromuskulärer Skoliose unter einer Anästhesie mit Propofol und Remifentanil, die bekanntermaßen einen nur geringen Einfluss auf die Aufzeichnung von SSEP hat. Die kortikalen SSEP der Nervi mediani et tibiales posteriores wurden bei 54 Patienten aufgezeichnet. Siebenundzwanzig Patienten litten unter einer idiopathischen, weitere 27 unter einer neuromuskulären Skoliose. Die Anzahl reproduzierbarer Ergebnisse und intraoperativer Veränderungen beider Gruppen wurde verglichen, wobei in beiden Gruppen die kortikalen SSEP mit hinreichender Zuverlässigkeit abgeleitet werden konnten. Der Amplitudenvergleich beider Gruppen zeigte keine statistische Signifikanz. Der neurologische Status aller Patienten blieb postoperativ auf demselben Niveau wie vor der Operation. Die Anzahl falsch positiver und richtig positiver Messergebnisse zeigte im Vergleich beider Patientenkollektive keinen Unterschied. Die Beurteilung der kortikalen SSEP war während Wirbelsäulenoperationen bei idiopathischen und neuromuskulären Skoliosen in gleicher Weise effektiv, was möglicherweise ein Resultat der Propofol-Remifentanil-Anästhesie war.

Gesehen und genehmigt:

Prof. Dr. med. Peter Lipfert

