

Diplomarbeit

**Zerebrale Oxygenierung bei reifen Neugeborenen
in den ersten fünfzehn Lebensminuten nach
Spontangeburt**

eingereicht von

Elisabeth Kratky

Mat.Nr.: 0433379

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor(in) der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Klinik für Kinder- und Jugendheilkunde

Abteilung für Neonatologie

unter der Anleitung von

Prof. Dr. Berndt Urlesberger

Zweitbetreuer

PD. Dr. Gerhard Pichler

Ort, Datum

(Unterschrift)

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwende habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

Unterschrift

Danksagungen

Mein größter Dank gilt meinem Diplomarbeitsbetreuer Univ. Prof. Dr. Berndt Urlesberger für die Planung der vorliegenden Studie und sein Vertrauen mich mit ihrer Durchführung auszuwählen. Die wertvollen Erfahrungen, die ich im Kreißsaal machen durfte, werde ich wohl nie vergessen.

Für die persönliche Begleitung und tatkräftige Unterstützung während der Messperiode über 6 Monate möchte ich insbesondere Dr. Gerhard Pichler, Dr. Mirjam Pocivalnik und Diplomkrankenschwester Evelyn Ziehenberger danken. Weiters möchte ich mich bei dem gesamten Neonatologie-Team sowie dem Kreißsaal-Team dafür bedanken, dass sie stets versucht haben mich beim Vorankommen der Studie zu unterstützen.

Weiters möchte ich mich ganz herzlich bei Mag. Alexander Avian für die statistische Auswertung unserer Daten sowie die Erstellung der Grafiken bedanken.

Ein ganz großer Dank gilt all den Familien und Neugeborenen, die mir ihr Vertrauen geschenkt haben und sich bereit erklärt haben an der Studie teilzunehmen.

Ganz besonders bedanken möchte ich mich bei meiner gesamten Familie und meinem Freund, die mich stets unterstützten und mich auf meinem Lebensweg begleitet haben.

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNGEN	II
INHALTSVERZEICHNIS	III
ZUSAMMENFASSUNG	V
ABSTRACT	VI
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	VII
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	VIII
TABELLENVERZEICHNIS	IX
1. EINLEITUNG	1
1.1. ALLGEMEINES ZUR GEBURT	2
1.2. ÜBERWACHUNGSMÖGLICHKEITEN WÄHREND DER GEBURT	3
1.3. VOM FETUS ZUM NG	4
1.3.1. <i>Die Physiologie des Fetus</i>	4
1.3.2. <i>HERZ, KREISLAUF UND LUNGE</i>	5
1.4. ADAPTATION NACH DER GEBURT	7
1.4.1 <i>Respiratorische Anpassung</i>	7
1.4.2 <i>Zirkulatorische Anpassung</i>	8
1.4.3 <i>Thermoregulation</i>	9
1.4.4 <i>Klinik einer regelrechten Adaptation</i>	9
1.5 VORGEHEN NACH KOMPLIKATIONSLOSER GEBURT.....	9
1.5.1 <i>Vitalitätsüberprüfung durch den Apgar- Index</i>	10
1.5.2 <i>Untersuchung des Nabelschnurbluts</i>	11
1.5.3 <i>Überprüfung der postnatalen Adaptation</i>	12
1.5.4 <i>Somatische Reifezeichen</i>	12
1.5.5 <i>Vitamin K Prophylaxe</i>	13
1.5.6 <i>Credé Prophylaxe</i>	13
1.6 PERSÖNLICHER BERICHT ÜBER DIE ERSTVERSORGUNG DES NG IM KREIßSAAL AN DER UNIVERSITÄTSKLINIK GRAZ	13
1.7. NAHINFRAROTSPEKTROSKOPIE.....	17
1.7.1 <i>NIRS Messungen in der Neonatologie</i>	22
1.7.2 <i>Pulsoxymetrie</i>	23
1.7.3 <i>Vergleich von NIRS mit Pulsoxymetrie</i>	24
1.7.4 <i>Pulsoxymetrie in der Neonatologie</i>	25
1.7.5 <i>Fractional tissue oxygen extraction (FTOE)</i>	26
1.8. ZIEL DER STUDIE	26
2. MATERIAL UND METHODEN	27
2.1 PULSOXYMETER	27

2.3	INVOS CEREBRAL & SOMATIC OXIMETER, COVIDIEN, USA	27
2.2	EIN- UND AUSSCHLUSSKRITERIEN	28
2.3	DURCHFÜHRUNG DER MESSUNG	28
2.4	ETHISCHE ASPEKTE	30
2.5	QUALITÄTSKRITERIEN	31
2.6	STATISTISCHE AUSWERTUNG	32
3.	ERGEBNISSE.....	33
3.1.	PATIENTENKOLLEKTIV	33
	<i>Nicht gemessen:</i>	34
	<i>Teilnahme verweigert:</i>	34
	<i>Gemessen:</i>	35
3.2	QUALITÄTSKRITERIEN	35
3.3	RSO ₂ BRAIN, SAO ₂ , HF, FTOE.....	37
3.4	ZUSAMMENFASSUNG:	41
4.	DISKUSSION	42
	ANHANG – ELTERNINFORMATION UND EINWILLIGUNGSERKLÄRUNG	47
	ANHANG-PROTOKOLLBLATT.....	53
	LITERATURVERZEICHNIS.....	54

Zusammenfassung

Hintergrund: Im Gegensatz zur arteriellen Sättigung (SaO_2) liegen für die regionale zerebrale Sättigung (rSO_2brain) beim reifen, gesunden Neugeborenen (NG) unmittelbar nach Spontangeburt keine Daten vor.

Material und Methoden: Messung von rSO_2brain mittels Nahinfrarotspektroskopie (INVOS Cerebral & Somatic Oximeter, Covidien, USA). Der Sensor wurde fronto-parietal fixiert. Messung von SaO_2 und Herzfrequenz mittels Pulsoxymetrie (Philips IntelliVue X2, Wien, Österreich) am rechten Handgelenk (präduktal). Berechnung der regionalen zerebralen Sauerstoffextraktion: Fractional tissue oxygen extraction (FTOE) mittels der Formel $(\text{SaO}_2 - \text{rSO}_2\text{brain}) / \text{SaO}_2$. Gemessen wurde in den ersten 15 Lebensminuten.

Einschlusskriterien: Inkludiert wurden reife NG mit einem Gestationsalter >37 Schwangerschaftswochen nach komplikationsloser Spontangeburt und ohne Bedarf weiterer medizinischer Interventionen. Exkludiert wurden NG mit kongenitalen Malformationen, sowie NG nach Vakuumextraktion oder Zangengeburt.

Resultate: 63 von 145 NG erfüllten die Einschlusskriterien.

Das Geschlechterverhältnis war 31 Mädchen (49,2%) und 32 Knaben (50,8%). SaO_2 zeigte von Minute 2 (72%) bis Minute 14 (96%) einen signifikanten Anstieg. rSO_2brain zeigte von Minute 2 (39%) bis Minute 5 (69%) einen hoch signifikanten Anstieg. Die FTOE zeigte von Min 2 (0,47) bis Min 4 (0,3) einen signifikanten Abfall, und einen neuerlichen Anstieg von Minute 8 bis 13.

Schlussfolgerung: Der Anstieg der Sauerstoffsättigung des Gehirns erfolgt nach Spontangeburt sehr rasch. Obwohl SaO_2 in den ersten 14 Minuten anstieg, zeigte die rSO_2brain schon nach 5 Minuten keine weiteren Veränderung mehr. Die zerebrale FTOE fiel in den ersten 4 Minuten ab, danach erreichte sie Normalwerte.

Abstract

Background: In contrast to “arterial-oxygen-saturation” (SaO_2) only few studies describe “regional-cerebral-oxygen-saturation” (rSO_2brain) during immediate transition after birth.

Methods: In this prospective study rSO_2brain measurements in term neonates after vaginal delivery with normal adaptation were performed. Neonates with congenital malformations or infants born through caesarean section or vakuum extraction were excluded.

rSO_2brain was measured with Near-Infrared Spectroscopy (INVOS Cerebral & Somatic Oximeter, Covidien, USA). The sensor was placed on the fronto-parietal forehead. Arterial oxygen saturation (SaO_2) and heart rate (HR) were measured by pulse oximetry (IntelliVue X2 Philips, Vienna, Austria), which was placed pre-ductal on the newborn’s right wrist. rSO_2brain , SaO_2 , and HR measurements were started immediately after birth and were performed in the first 15 minutes after birth. Mean values (95% Confidence Interval) were calculated for each minute after birth. In addition, the “fractional-tissue-oxygen-extraction” (FTOE) was calculated by $(\text{SaO}_2 - \text{rSO}_2\text{brain}) / \text{SaO}_2$. A linear mixed model was used for the calculation of significant differences ($p < 0.05$) of the measurements (15 minute value).

Results: 63 of 145 newborn infants were included. The gender allocation of 63 infants was 31 females (49.2%) and 32 males (50.8%). SaO_2 increased from minute 2 72% (69-76%) until minute 14 96% (94-98%). rSO_2brain increased rapidly from minute 2 39% (32-46%) until minute 5 69% (63-75%). FTOE showed a significant decrease from minute 2 (0.47) until minute 4 (0.3) and an increase between minute 8 to minute 13.

Conclusion: Regional oxygen saturation of the brain increased rapidly after vaginal delivery. Although SaO_2 increased within the first 14 minutes after delivery, rSO_2brain showed no significant changes after minute 5. FTOE decreased in the first 4 minutes and reached standard values afterwards.

Abkürzungsverzeichnis

BE	Basenexzess
CTG	Kardiotokogramm
cm	Zentimeter
FTOE	Fractional tissue oxygen extraction
g	Gramm
Hb	desoxygeniertes Hämoglobin
HbT	Gesamthämoglobin
Hf	Herzfrequenz
HbO ₂	oxygeniertes Hämoglobin
kg	Kilogramm
KI	Konfidenzintervall
Mb	Myoglobin
MW	Mittelwert
NG	Neugeborene
NIRS	Nahinfrarotspektroskopie
nm	Nanometer
O ₂	Sauerstoff
pCO ₂	Kohlenstoffdioxid Partialdruck
rSO ₂	regionale Gewebsoxygenierung
rSO ₂ brain	regionale zerebrale Sättigung
SaO ₂	arterielle Sättigung
SbO ₂	cerebral hemoglobin oxygen saturation
SD	Standardabweichung
SSW	Schwangerschaftswochen
TOI	tissue oxygenation index

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1 SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES FETALKREISLAUFES MIT DEN SHUNTVERBINDUNGEN SOWIE DIE SAO ₂ IN DEN JEWEILIGEN STROMGEBIETEN.....	6
ABBILDUNG 2 KREISLAUF DES MENSCHEN. A VOR DER GEBURT, B NACH DER GEBURT ...	8
ABBILDUNG 3 NIRS-ABSORPTIONSSPEKTREN FÜR OXYGENIERTES HÄMOGLOBIN (HbO ₂), OXYGENIERTES MYOGLOBIN (MbO ₂) BEI 920NM [ROT]; DESOXYGENIERTE HÄMOGLOBIN (Hb), Mb BEI 760NM [GRÜN]; CYTOCHROM C OXIDASE (CTOX) BEI 830NM [BLAU]. DIE MARKIERUNGEN ZEIGEN DAS JEWEILIGE ABSORPTIONSMAXIMUM AN.....	18
ABBILDUNG 4 GRAPHISCHE DARSTELLUNG DER „SPATIALLY RESOLVED SPECTROSCOPY“-METHODE	21
ABBILDUNG 5 PHILIPS INTELLIVUE X2 MONITOR	27
ABBILDUNG 6 FOTO DES NIRS-MESSGERÄTES UND DES SENSORS FÜR DIE ZEREBRALEN MESSWERTE.....	28
ABBILDUNG 7 FOTOS ZWEIER NG WÄHREND EINER MESSUNG	30
ABBILDUNG 8 PATIENTENKOLLEKTIV.....	33
ABBILDUNG 9 VORHANDENSEIN DER DATEN ZU DEN JEWEILIGEN LEBENSMINUTEN.....	36
ABBILDUNG 10 VERLAUF DER RSO ₂ BRAIN VON MIN 2-15. **P<0,005 ZUM ENDWERT MIN 15.....	38
ABBILDUNG 11 VERLAUFVERGLEICH VON SAO ₂ UND RSO ₂ BRAIN VON DER LEBENSMINUTE 2-15, * P<0,05 UND ** P<0,005 ZUM ENDWERT (15. MINUTE)	39
ABBILDUNG 12 VERÄNDERUNG DER FTOE ZWISCHEN LEBENSMINUTEN 2-15, *P< 0,05 , **P<0,005 ZUM ENDWERT (MINUTE 15).....	40
ABBILDUNG 13 VERLAUF DER HF (HR) IN DER MIN 2-15, *P<0,05, **P<0,005 ZUM ENDWERT (MIN 15),	41

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1 APGAR-INDEX	10
TABELLE 2 NORMWERTE DER VITALFUNKTIONEN EINES NG IN DER POSTNATALEN ADAPTION.....	12
TABELLE 3 DEMOGRAPHISCHE UND KLINISCHE DATEN DER NG	35
TABELLE 4 GEMESSENE PARAMETER (RSO ₂ BRAIN, SAO ₂ , HF, FTOE) ZU DEN JEWEILIGEN MINUTEN (ALTER DES KINDES)	37

1. Einleitung

Der Übergang eines ungeborenen Kindes zu einem lebensfähigen Neugeborenen (NG) bedarf vieler physiologischer und teils komplexer Anpassungsleistungen. Es ist seit vielen Jahren bekannt, dass sich die Sauerstoffverhältnisse in dieser Übergangsphase drastisch verändern. Diese Veränderungen können mittels Pulsoxymetrie gemessen werden. Mit dieser Methode misst man die arterielle Sättigung (SaO_2), die den Prozentsatz an sauerstoffbeladenem Blutfarbstoff Hämoglobin anzeigt. Die engmaschige Überwachung dieser SaO_2 hat heutzutage in der intensiv-medizinischen Überwachung einen großen Stellenwert. Aus wissenschaftlichem Interesse haben sich einige Forschungsgruppen mit der Veränderung der SaO_2 von NG unmittelbar nach der Geburt beschäftigt^{1 2 3 4 5 6 7}. Diese erfährt bei gesunden NG innerhalb des Übergangs vom fetalen zum neonatalen Kreislauf einen rapiden Anstieg³⁻⁵. Bei nicht regelrechtem Ablauf dieser physiologischen Prozesse kann es zu einer Mangelversorgung durch Sauerstoff (O_2) der Organe kommen. Das Gehirn ist das empfindlichste Organ des Menschen bezüglich O_2 -Mangel. Verschiedenste Ursachen vor, während und nach der Geburt können zu einem O_2 -Mangel führen und schwerwiegende Konsequenzen für die Entwicklung des Gehirns haben. Trotz aller Fortschritte der modernen Medizin im Bereich der intensivmedizinischen Betreuung von NG, stellen hypoxisch-ischämische Gehirnveränderung noch immer ein großes Problem dar.

Es ist noch weitgehend unerforscht, inwieweit sich die O_2 -Verhältnisse im Gehirn unter gesunden Bedingungen unmittelbar nach der Geburt verändern. Mehr Wissen darüber könnte in Zukunft eine abnormale O_2 -Versorgung des Gehirns erkennen lassen und für therapeutische Interventionen potentiell hilfreich sein.

Jöbsis⁸ beschrieb vor mehr als 30 Jahren eine Methode der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS), welche Auskunft über die zerebrale Zirkulation gibt. Mit dieser Methode wurde es möglich, in verschiedenen Geweben im Körper, Informationen über die regionale Gewebssättigung zu erhalten. In den letzten Jahrzehnten wurden einzelne Organsysteme wie die Niere, Gehirn, Leber und auch Muskelgewebe auf ihre O_2 -Sättigung näher untersucht. Es gibt auch Studien, die sich mit der zerebralen Gewebssättigung am ersten Lebenstag bei NG beschäftigten^{9 10 11}. Die Messgenauigkeit und die Aussagekraft dieser Methode

stellen weiterhin ein großes Problem dar. Deshalb ist der klinisch routinemäßige Einsatz noch nicht erfolgt.

Das Ziel dieser Arbeit war es, im Rahmen einer prospektiven klinischen Studie, Informationen über die zerebrale Gewebssättigung in den ersten 15 Lebensminuten bei gesunden, spontan geborenen Kindern zu erhalten und eine Korrelation zu den arteriell gemessenen Werten darzustellen. Diese Studie wurde mittels einer Kooperation zwischen der Abteilung für Neonatologie (Universitätsklinik für Kinder- und Jugendheilkunde Graz) und dem Kreißsaal der Universitätsklinik für Gynäkologie und Geburtshilfe Graz möglich.

1.1. Allgemeines zur Geburt

Die mittlere Schwangerschaftsdauer beim Menschen beträgt 40 Wochen, 280 Tage bzw. 10 Lunarmonate. Der Geburtstermin wird nach der Naegele-Regel berechnet. Dazu nimmt man den ersten Tag der letzten Regelblutung minus 3 Monate plus 7 Tage plus 1 Jahr. Die Schwangerschaftsdauer entspricht einer Normalverteilung, somit ist die Treffsicherheit dieser Berechnung eingeschränkt. Zum errechneten Termin kommen nur etwa 4% der Kinder zur Welt. Allerdings erblicken 66% in den 10 Tagen vor und nach dem berechneten Termin das Licht der Welt. Ein Termin geborenes Kind wird nach vollendeter 37. Schwangerschaftswoche (SSW) und vor vollendeter 42. SSW geboren. Wenn ein Kind davor zur Welt kommt, bezeichnet man es als Frühgeborenes, danach als übertragenes NG.

Die Geburtsdauer ist von Frau zu Frau unterschiedlich und ist unter anderem abhängig davon, ob sie erstgebärend oder mehrgebärend ist. Laut Angaben des Kreißsaals an der Universitätsklinik Graz dauert die normale Geburtsdauer einer Erstgebärenden im Mittel 13 Stunden (Eröffnung bis zu 12 Stunden und Austreibung eine Stunde). Bei Mehrgebärenden geht es in der Regel schneller und dauert im Schnitt 9 Stunden, wobei hier die Eröffnungsphase auch im Mittel bis zu 8 Stunden betragen kann.

Der Geburtsverlauf wird in drei Stadien eingeteilt: die Eröffnungs-, die Austreibungs- und die Nachgeburtsperiode. Die Eröffnungsperiode beginnt mit dem Einsetzen der Wehen bis zum vollständig geöffneten Muttermund. Bei einem kleinen Prozentsatz aller Geburten kommt es in dieser Phase zu einem Geburtsstillstand aufgrund einer regelwidrigen Einstellung des kindlichen

Schädels, einem Schädel-Becken-Missverhältnis oder einer eintretenden Wehenschwäche. Am Ende der Eröffnungswehen kommt es bei 2/3 aller Frauen zum rechtzeitigen Blasensprung. Als Austreibungsperiode wird der Zeitraum von vollständig geöffnetem Muttermund bis zur Geburt des Kindes bezeichnet. Diese Periode sollte einen Zeitraum von über einer Stunde nicht überschreiten. An der Klinik unter kontrollierten Bedingungen kann ein Zeitraum von 2-3 Stunden toleriert werden. In dieser Phase besteht eine erhöhte Gefährdung für das Kind, da der Uterus sowie auch die Plazenta in den Presswehen weniger durchblutet werden. Dadurch kann beim Kind ein akuter O₂-Mangel auftreten. In dieser Phase ist die Überwachung mittels Kardiotokogramm (CTG) erforderlich. Die letzte Phase der Geburt stellt die Nachgeburtsperiode dar. Diese ist der Zeitabschnitt von der Geburt des Kindes bis nach der Ausstoßung von Plazenta, Eihäuten und Nabelschnur. Im Durchschnitt dauert diese Periode 20 Minuten. Löst sich die Plazenta nicht innerhalb von einer Stunde muss eine manuelle Plazentalösung in Narkose durchgeführt werden.

1.2. Überwachungsmöglichkeiten während der Geburt

Gefährdungen für Mutter und Kind müssen rechtzeitig erkannt und behandelt werden. Allerdings können gefährliche Situationen grundsätzlich auch ohne vorherige Warnzeichen auftreten. Für die Überwachung bei der Geburt steht das CTG an oberster Stelle. Das CTG ist eine Methode, um gleichzeitig die Wehentätigkeit der Mutter sowie die Herztonkurve des Kindes aufzuzeichnen. Die Wehentätigkeit wird mittels eines Druckmessers über dem Uterus aufgezeichnet, die Herztöne des Kindes werden mittels Doppler-Sonographie ermittelt. Beide Sensoren werden extern an der Bauchdecke der Mutter fixiert und gleichzeitig auf einem Papierstreifen dokumentiert. Aus diesen aufgezeichneten Kurven kann man die Basalfrequenz, die Oszillationsamplitude sowie Schwankungen in der Herzfrequenz beurteilen. Aufgrund des schon langjährigen Einsatzes dieser Methode können mithilfe vieler Kriterien ein normales, ein suspektes und ein pathologisches CTG unterschieden werden. Während der Geburt werden das Kind und die Wehentätigkeit kontinuierlich mittels CTG überwacht. Die Geburtshelfer müssen individuell entscheiden, welches Vorgehen bei einem suspekten oder pathologischen CTG indiziert ist. Dafür ist es notwendig, die Ursache zu finden und wenn möglich zu beheben. Ein suspektes CTG kann auch durch die

Tiefschlafphase des Kindes bedingt sein und durch einen einfachen Weckversuch behoben werden. Bei Vorliegen einer schweren Bradykardie (< 100 Schlägen pro Minute) muss immer gehandelt werden. In diesen Fällen versucht man durch O₂-Gabe der Mutter bzw. Hemmung der Wehen die fetale Herzfrequenz (Hf) zu steigern. Bei Misserfolg und anhaltender Bradykardie muss die sofortige Entbindung meist durch Notfalls-Kaiserschnitt erfolgen. Bei suspektem CTG hat man die Möglichkeit, Näheres über den Zustand des Kindes mittels einer Mikrobiutuntersuchung zu erfahren. Voraussetzung dafür ist ein mindestens 2-3 cm geöffneter Muttermund, damit man spezielle Geräte in die Scheide einführen kann, um zur Kopfhaut des Kindes zu gelangen. Anschließend wird die Haut desinfiziert und angeritzt. Es wird ein Tropfen Blut aus der Kopfhaut entnommen und sofort dessen pH-Wert gemessen. Abhängig von dem gemessenen pH-Wert des Blutes muss das weitere Vorgehen durch den Geburtshelfer entschieden werden.

1.3. Vom Fetus zum NG

Im Mutterleib übernimmt die Plazenta (Mutterkuchen) viele lebenswichtige Funktionen des heranwachsenden Kindes. Die Plazenta dient dem Fetus als „Darm“ durch die aktive Nährstoffaufnahme und als „Niere“ durch Abgabe von Abbauprodukten. Die Funktion der Lunge wird auch bis zum Zeitpunkt der Geburt durch O₂-Aufnahme und Kohlendioxidabgabe von der Plazenta übernommen. Dies bedeutet, dass zum Zeitpunkt der Geburt die Versorgung durch die Plazenta schlagartig unterbrochen wird und der Organismus des Kindes plötzlich viele Funktionen autonom übernehmen muss. Die Lunge und der Darm nehmen erst zu diesem Zeitpunkt ihre Aufgaben voll wahr. Das Herz-Kreislauf-System arbeitet in der Fetalzeit anders und muss sich mit der Geburt umstellen.

1.3.1. Die Physiologie des Fetus

In der Embryonalperiode (zw. der 2. und der 12. SSW) entwickeln sich die einzelnen Organe und nehmen erste Funktionen auf. Am Ende dieser Zeit wiegt ein Embryo rund 100 g und ist 10 cm lang. In den darauf folgenden Wochen bis zur Geburt wächst der Fetus auf eine Länge von etwa 50 cm heran und erreicht ein Gewicht von etwa 2500 - 4300 g.

Die Körperlänge steigt ab der 8. SSW kontinuierlich an, wobei das Gewicht erst in der 20. SSW seinen steilen Anstieg erfährt.

1.3.2. Herz, Kreislauf und Lunge

Das Herz beginnt in der 5. Woche mit einer Frequenz von etwa 65 Schlägen pro Minute zu schlagen. Der Kreislauf entwickelt sich bis zur 11. Woche und lässt sich dann wie folgt beschreiben.

Das Blut im Fetus wird anders als postnatal verteilt, d.h. wenig in Anspruch genommene Organe wie z.B. die Lunge oder Leber werden weitgehend umgangen. Das in der Plazenta arterialisierte Blut erreicht über die Nabelvene den Fetus und mündet zum Großteil direkt in die untere Hohlvene. Dadurch wird der Kreislauf der Leber über einen Shunt (Kurzschlussverbindung) umgangen und nur ein kleiner Anteil des ankommenden Blutes durchfließt die Leber. Diese erste Verbindung erfolgt durch den Ductus Venosus. In der unteren Hohlvene vermischt sich das ankommende arterialisierte Blut mit dem venösen Blut der unteren Körperhälfte. Nun mündet die untere Hohlvene in den rechten Vorhof, wo sich ihr Blut mit dem aus der oberen Hohlvene kommenden venösem Blut nur zum Teil vermischt. Gelenkt durch spezielle Falten der Hohlvene gelangt das arterielle Mischblut (untere Hohlvene) vom rechten Vorhof größtenteils direkt in den linken Vorhof und von dort in die linke Kammer. Zu diesem Zeitpunkt besteht eine offene Verbindung zwischen den zwei Vorhöfen, die sich Foramen ovale nennt. Somit kommt es zu einer geringen Mischung zwischen dem arteriellen Mischblut der unteren Hohlvene und dem venösen Blut aus der oberen Hohlvene. Dadurch gelangt das O₂-reichere Blut direkt in das linke Herz und versorgt über die Aorta die obere Körperhälfte, insbesondere das Gehirn, mit O₂. Das venöse Blut aus der oberen Hohlvene dagegen gelangt in die rechte Herzkammer. Hierbei ist zu erwähnen, dass der rechte und der linke Kreislauf parallel geschaltet sind und nicht wie beim Erwachsenen in Serie, da es nicht erforderlich ist, das gesamte Herzzeitvolumen durch die Lunge zirkulieren zu lassen. Im Lungenkreislauf herrscht ein hoher Strömungswiderstand¹², da die Lunge einerseits noch nicht entfaltet ist und andererseits die Gefäße durch die niedrige O₂-Konzentration sehr eng gestellt sind. Somit ist es sinnvoll, dass ein sehr geringer Teil des Blutes aus der rechten Herzkammer in die Lunge gelangt¹³. Zum Großteil gelangt dieses venöse Blut über eine Verbindung, den Ductus arteriosus, von der Pulmonalarterie direkt in die Aorta. Diese Mündung liegt weiter distal (postductal) als die drei zuvor abgehenden Hauptäste, die die Versorgung der oberen Körperhälfte gewährleisten. Somit steht nur relativ O₂-armes Blut für die Versorgung der

unteren Körperhälfte zur Verfügung. Dieses venöse Blut mündet zu einem großen Teil in die Nabelarterien und wird in der fetoplazentaren Einheit wieder mit O₂ angereichert.

In Abbildung 1 ist der gesamte fetale Kreislauf schematisch dargestellt. Die prozentuelle O₂-Sättigung in den jeweiligen Gefäßen sowie die ungefähre Durchblutung pro kg Körpergewicht der einzelnen Organe wird angegeben. Die Werte für die O₂-Sättigung zeigen, dass die Kopfregion das Blut mit dem höchsten O₂-Gehalt bekommt.

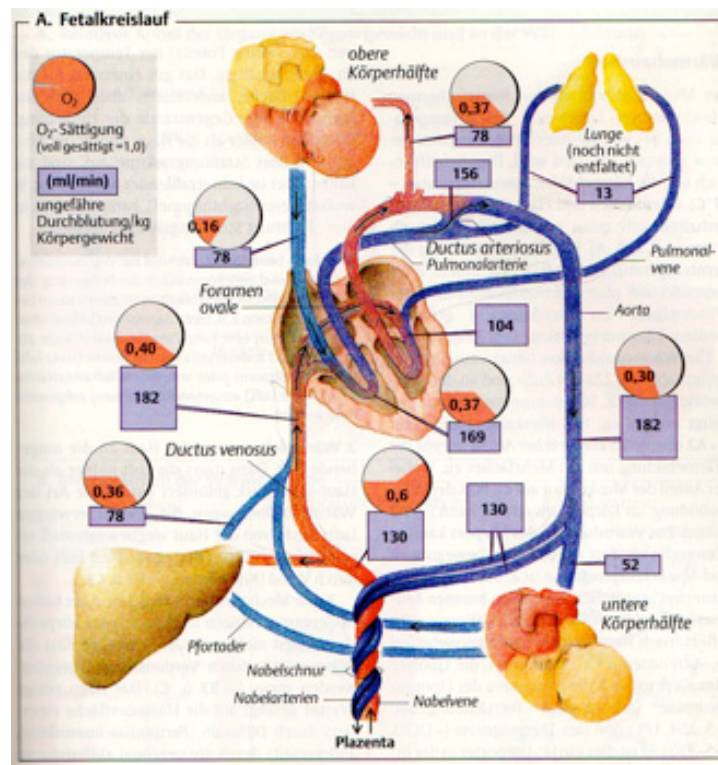


Abbildung 1 Schematische Darstellung des Fetalkreislaufes mit den Shuntverbindungen sowie die SaO₂ in den jeweiligen Stromgebieten¹⁴

Das von der Plazenta fließende Blut in der Nabelvene besitzt einen Sauerstoffpartialdruck (pO₂) von bis zu 35 mmHg und eine O₂-Sättigung von 60%¹⁵. Um trotz dieser niedrigen Werte eine adäquate O₂-Versorgung zu gewährleisten, sind folgende Unterschiede zum Erwachsenen gegeben. Einerseits ist die fetale Hämoglobinkonzentration im Blut mit 20 g/dl viel höher und andererseits besteht eine höhere Affinität des fetalen Hämoglobin zu O₂¹². Zusätzlich ist die Herzrate in der fetalen Periode mit 130-160/min erhöht. Das Blut

in der Nabelarterie besitzt einen pO_2 von nur 15-25 mmHg¹⁵. Im zirkulatorischen System des Fetus stellt die Plazenta den geringsten Widerstand dar.

Ab der 12. SSW kann man beim Fetus Atembewegungen feststellen. Bis zur Geburt sind die Alveolen und die Bronchien mit Alveolarsekret gefüllt. Dieses Sekret gelangt durch Atembewegungen in das Fruchtwasser. Ab der 26. Woche wird die oberflächenaktive Substanz Surfactant produziert.

1.4. Adaptation nach der Geburt

Unter Adaptation versteht man die Anpassung des NG an das extrauterine Leben. Wie schon erwähnt übernimmt die Plazenta während der Schwangerschaft viele Funktionen, die das NG nach der Abnabelung selbst leisten muss. Extrauterin müssen insbesondere Lunge und Kreislauf sofort ihre Funktionen aufnehmen. Aber auch andere Organsysteme wie das zentrale Nervensystem, Magen-Darm-Trakt und die Nieren müssen sich an die neue Umwelt anpassen. Voraussetzung dafür ist, dass alle Organsysteme voll ausgebildet und gereift sein müssen, damit sie zum Zeitpunkt der Geburt ihre Funktionen ausüben können.

1.4.1 Respiratorische Anpassung

Die Geburt stellt nicht nur für die Mutter, sondern auch für das Kind eine Stresssituation dar. Im Zuge der Wehen wird die Blutzufuhr über die Plazenta reduziert und löst im Fetus eine vorübergehende Hypoxie (O_2 -Mangel) und eine metabolische Azidose aus¹⁶. Der Thorax des Kindes wird bei einer vaginalen Entbindung zusammengepresst, sodass Lungenflüssigkeit austritt. Weitere Faktoren wie Kälte, Licht und Schwerkraft bewirken einen starken Atemantrieb beim NG. Somit beginnt das Kind meist innerhalb von Sekunden zu atmen. Mit dem ersten tiefen Atemzug entsteht ein großer negativer Druck im Thorax, sodass Luft in die Alveolen gelangt. Bei anschließender Expiration verhindert das oberflächenaktive Surfactant das Kollabieren der Lungenbläschen. Die Entfaltung der Lunge sowie der Flüssigkeitstransport bewirken hohe Ventilationswiderstände, die mit jedem weiteren Atemzug abnehmen. 40 Minuten nach der Geburt erreicht das Atemzugvolumen konstante Werte und eine normale Atmung kann bei gesunden NG beobachtet werden¹⁶.

Um eine adäquate O_2 -Versorgung zu gewährleisten muss die Lunge nicht nur belüftet sein, sondern auch ausreichend durchblutet werden. Dies geschieht durch den höheren pO_2 durch die eingeatmete Luft. Dadurch kommt es zu einer

Weitstellung der Lungengefäße und somit zu einer Senkung des pulmonalen Gefäßwiderstands.

1.4.2 Zirkulatorische Anpassung

Nach der Geburt werden Lungen- und Körperkreislauf hintereinander geschaltet und die Verbindungen, Foramen ovale, Ductus arteriosus und Ductus venosus werden geschlossen. Durch den Wegfall der Plazentastrombahn steigt der periphere Gefäßwiderstand im Körperkreislauf und der pulmonale Widerstand sinkt. Somit entsteht ein viel höherer Druck im linken Vorhof als im rechten, sodass eine Shuntumkehr die Folge ist und das Blut vom linken in den rechten Vorhof fließt. Aufgrund anatomischer Gegebenheiten wird dadurch das Foramen ventilartig verschlossen. Die Septen werden zusammengepresst und verschmelzen innerhalb von Tagen nach der Geburt miteinander¹³. Nach dem Druckanstieg in der Aorta kommt es auch beim Ductus arteriosus zur Shuntumkehr. Aufgrund der höheren O₂-Konzentration kommt es nun zu einer Vasokonstriktion (Gefäßengstellung) und der Ductus verschließt sich zunächst funktionell. Abgesehen davon hat die Gefäßmuskulatur ihre Empfindlichkeit gegenüber Prostaglandin E₂, das intrauterin deren Dilatation (Weitstellung) bewirkte, verloren. Nach Fortfall der Nabelschnurdurchblutung schließt sich auch der Ductus venosus, wobei die genauen Mechanismen dafür bis jetzt noch nicht ganz geklärt sind. Zusammenfassend sind die wesentlichen morphologischen Unterschiede in Abbildung 2 nochmals bildlich dargestellt.

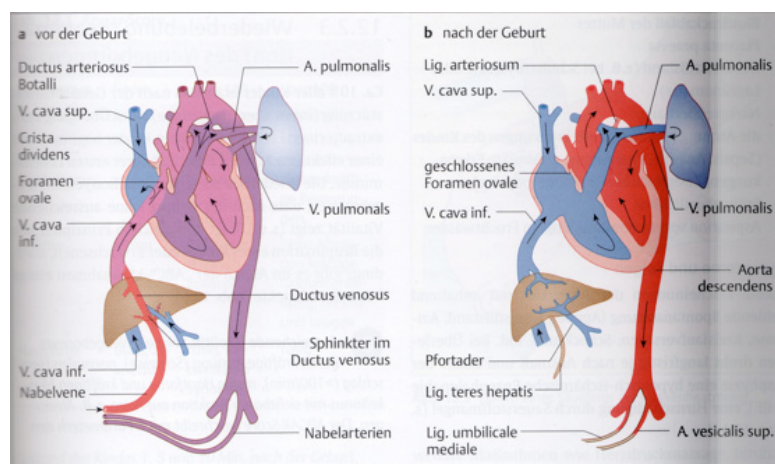


Abbildung 2 Kreislauf des Menschen. a) Vor der Geburt, b) nach der Geburt¹⁷

1.4.3 Thermoregulation

Die normale rektale Körpertemperatur beim NG beträgt zwischen 36-37°C. NG haben im Verhältnis zu ihrer Körpermasse eine große Körperoberfläche. Nach der Geburt sind sie deshalb gefährdet auszukühlen und müssen entsprechend warm gehalten werden. Wärmeverlust und einhergehende Unterkühlung kann einerseits durch Verdunstung bei feuchter Haut und andererseits durch Abgabe von Wärmestrahlung an die Umgebung schnell auftreten. Von einer Unterkühlung (Hypothermie) spricht man von einer rektalen Körpertemperatur von unter 36°C. NG können bei Kältestress ihre Wärmebildung über erhöhten Energieumsatz im braunen Fettgewebe durch Thermogenin erhöhen. Dafür benötigt das Kind mehr O₂ und Zucker. Dies kann zu einer Hypoxie und zu einer Hypoglykämie führen und damit zu einer akuten Verschlechterung des Allgemeinzustands. Kältezittern hingegen tritt in diesem Alter noch nicht auf.

1.4.4 Klinik einer regelrechten Adaptation

Hebammen, Pädiater und Geburtshelfer sind darauf geschult eine regelrechte von einer gestörten oder verzögerten Adaptation frühzeitig zu erkennen. Zeichen einer regelrechten Adaptation sind: ein kräftiger Schrei mit anschließender ruhiger Atmung, lebhafte Bewegungen der Extremitäten und sofortige Reaktion auf äußere Reize sowie das Einsetzen der Hautrötung. Später wird im Rahmen der Erstversorgung die Beurteilung eines NG noch genauer erläutert.

1.5 Vorgehen nach komplikationsloser Geburt

Die Überwachung der physiologischen Adaptation gehört zu den wichtigsten Aufgaben nach der Geburt. Therapeutische Interventionen richten sich nach der jeweiligen Situation. Zuerst möchte ich auf die Standardvorgehen hinweisen, die nie außer Acht gelassen werden dürfen. Anschließend werden die speziellen Facetten der NG-Erstversorgung beschrieben.

Sobald das Kind geboren ist, sollte man es abtrocknen bzw. abreiben. Dies dient einerseits zur Stimulation des Atemantriebs und andererseits verhindert man dadurch massiven Wärmeverlust durch Verdunstung. Während des Abtrocknens sollte auch eine Soforteinschätzung des NG erfolgen. Wenn man diese Einschätzung erst im Zuge der Apgar-Bewertung nach der ersten Lebensminute macht, könnte kostbare Zeit verloren gehen. Ist das Kind unauffällig, wird es nach

Abnabelung auf den Bauch der Mutter gelegt. Hierbei wird nicht nur die Mutter-Kind-Bindung gefördert, sondern auch ein weiterer Wärmeverlust des Kindes verhindert. Wie schon erwähnt ist es besonders wichtig, das Kind warm zu halten, um eine Hypoglykämie und Hypoxie zu verhindern. Studien haben gezeigt, dass das routinemäßige oropharyngeale Absaugen bei NG keinen Vorteil bringt. Ganz im Gegenteil, es kann das Absaugen bei gesunden NG einen langsameren Anstieg der SaO₂ zur Folge haben^{18 19 20}. Die Ergebnisse konnten sowohl für vaginal geborene NG als auch für NG die mittels Kaiserschnitt zur Welt kamen gezeigt werden. Die Nachteile des Absaugens wie z.B. eine durch einen Vagusreiz ausgelöste Reflexbradykardie überwiegen gegenüber den Vorteilen. Ansonsten sind auch Schleimhautschäden durch das Absaugen beschrieben. Es geht der Trend dahin, ausschließlich bei einem avitalen deprimierten Kind im Rahmen der sofortigen Reanimationsmaßnahmen abzusaugen.

1.5.1 Vitalitätsüberprüfung durch den Apgar- Index

Die Anästhesistin Virginia Apgar entwickelte 1948 einen Index zur Quantifizierung der wichtigsten Kriterien zur Zustandsbeurteilung des NG²¹. Dieser wird in Tabelle 1 dargestellt und beurteilt die Vitalität eines Kindes mit Hilfe von 5 Kriterien: die Herzfrequenz, die Atemfrequenz, die Reflexauslösbarkeit, der Muskeltonus und die Hautfarbe.

Kriterium	0 Punkte	1 Punkt	2 Punkte
Herzfrequenz	kein Herzschlag	unter 100/min	über 100/min
Atemantrieb	kein	unregelmäßig, flach	regelmäßig, Kind schreit
Reflexe	keine	Grimassieren	kräftiges Schreien
Muskeltonus	schlaff	leichte Beugung der Extremitäten	aktive Bewegung der Extremitäten
Farbe	blau, blass	Stamm rosig, Extremitäten blau	gesamter Körper rosig

Tabelle 1 Apgar-Index²²

Für die jeweiligen Kriterien werden 0-2 Punkte vergeben und sie werden 1, 5 und 10 Minuten nach Abnabelung des Kindes bestimmt. In Österreich werden diese drei Werte (z.B. 9/10/10) im Mutter-Kind-Pass dokumentiert.

Punkteanzahlen von 9 und 10 Punkten sind ideal, 7 und 8 ist noch normal und bei Werten unter 5 müssen die sofortigen Reanimationsmaßnahmen begonnen werden. Ein gesundes NG weist meist einen Apgar Wert bei Minute 1 von ≥ 8 auf sowie Apgar Werte bei Minute 5 und 10 von ≥ 9 Punkten. Die Punkteanzahl nach

der ersten Lebensminute kann physiologischerweise nicht 10 betragen, da alle Kinder in der ersten Lebensminute eine zyanotische Hautfarbe aufweisen.

Dem Apgar-Wert wird nur eine begrenzte prognostische Bedeutung zugeschrieben. Zum einen beschreibt dieser den Zustand eines NG innerhalb eines begrenzten Zeitabschnittes und er enthält subjektive Komponenten²³. Zum anderen ist dieser, aufgrund der Unreife des Kindes bei Frühgeborenen nur eingeschränkt anwendbar²⁴.

Trotz allem sollte der Apgar-Index als Kriterium zur Intervention bei anpassungsgestörten NG verwendet werden.

1.5.2 Untersuchung des Nabelschnurbluts

Neben den nicht-apparativ erhobenen Beurteilungskriterium des Apgar-Index ist die Bestimmung des Nabelschnur-pH ein zusätzliches objektives Bewertungskriterium des postpartalen Zustands. Nach jeder Geburt wird unmittelbar nach Abnabelung des Kindes routinemäßig Blut aus den Nabelschnurgefäßen (Arterie und Vene) abgenommen. Aus diesem wird der pH-Wert, Basenexzess (BE) und der Partialdruck des Kohlenstoffdioxids ($p\text{CO}_2$) bestimmt. Für das Kind ist die Bestimmung der pH-Werte aus der Nabelschnurarterie besonders relevant. Normale pH-Werte der Nabelschnurarterie liegen $> 7,2$ und der BE sollte > -10 mmol/l betragen. Ein pH-Wert < 7 und ein BE < -18 mmol/l sind pathologisch und weisen auf eine signifikante Hypoxämie und/oder eine Asphyxie des NG hin. Solche Werte gehen mit einem signifikant erhöhten Risiko irreversibler neurologischer Schädigung einher. pH-Werte zwischen 7,0 und 7,2 weisen auf einen leichte bis mittelschwere Azidose hin. Eine Korrelation zwischen dem Ein-Minuten-Apgar-Index und dem pH-Wert ist in der Literatur beschrieben²⁵.

Weiters kann man bei Bedarf aus dem Nabelschnurblut den Hämatokrit bestimmen. Damit könnte man eine Anämie (Blutarmut) bzw. eine Polyglobulie (gesteigerte Blutneubildung) laborchemisch beweisen bzw. ausschließen.

Zusätzlich wird bei allen Schwangeren, die nicht die Blutgruppe AB Rhesus positiv aufweisen, die Blutgruppen des Kindes bestimmt. Gewisse Konstellationen bedürfen weiterer medizinischer Therapien auf Seiten der Mutter sowie des Kindes.

1.5.3 Überprüfung der postnatalen Adaptation

Die postnatale Adaptation findet üblicherweise in den ersten 30 Lebensminuten des Kindes statt und ist durch hochkomplexe Vorgänge charakterisiert (siehe Kapitel 1.3.2). In der Tabelle 2 sind die wichtigsten Merkmale bezüglich Atmung und Kreislauf zusammengefasst.

	Normwerte
Atmung	40-60/min
Herzfrequenz	120-180/min
Sauerstoffsättigung SaO ₂ in %	> 90%
pCO ₂	35-40mmHg
Rekapillarierungszeit	1-2 sek.

Tabelle 2 Normwerte der Vitalfunktionen eines NG in der postnatalen Adaption²³

Innerhalb dieser ersten 30 Lebensminuten ist eine unregelmäßige Atmung und leichte Dyspnoezeichen wie Nasenflügeln noch normal. Danach sollten Dyspnoezeichen ernst genommen werden. Zu diesen zählen Stöhnen, Nasenflügeln, Einziehungen, in- oder expiratorischer Stridor oder Schaukelatmung.

Für die Beurteilung der Neurologie sind folgende Punkte wichtig: lockere Finger- und Zehenhaltung, leichte Beugehaltung der Extremitäten, keine Asymmetrie der Körperhaltung oder bevorzugte Kopfwendung. Ein kräftiger Such- und Saugreflex sollte auslösbar sein. Dies ist keine vollständige Aufzählung, sondern lediglich ein Ausschnitt wichtiger Kriterien zur Beurteilung eines NG²⁶.

1.5.4 Somatische Reifezeichen

Ein körperlich reifes Kind liegt in Gewicht, Länge und Körperumfang in der Norm. Weiters zeigt die Haut meist noch Reste der Käseschmiere und die Fingernägel überragen die Fingerkuppen. Die gesamte Fußsohle zeigt eine Fältelung. Beim Jungen liegen die Hoden im Skrotum und beim Mädchen werden die kleinen Labien von den großen bedeckt. Das Ohr hat seine volle Form erreicht, das heißt die Helix ist umgeschlagen und fest.

1.5.5 Vitamin K Prophylaxe

Der physiologische Vitamin K Mangel kann zu lebensbedrohlichen Gerinnungsstörungen im Sinne einer Verbrauchskoagulopathie führen. Deswegen verabreicht man Vitamin K um die Neubildung Vitamin K-abhängiger Gerinnungsfaktoren zu gewährleisten. Die erste Vitamin K Gabe wird am ersten Lebenstag in Form von 2 mg Konakion peroral verabreicht. Die zweite Dosis wird zwischen dem 3.-10. Lebenstag und die dritte und letzte Dosis zwischen der 4.-6. Lebenswoche verabreicht.

1.5.6 Credé Prophylaxe

Im Zuge der Geburt besteht die Möglichkeit einer Infektion der Augen (Konjunktivitis) meist hervorgerufen durch Chlamydia trachomatis. Um das Risiko einer Konjunktivitis beim NG zu senken wird in vielen Ländern die Credé'sche Prophylaxe verabreicht. Ursprünglich verwendete man dafür 1 Tropfen Silbernitrat und tropfte es in beide Augen des Kindes. Studien haben gezeigt, dass diese Lösung jedoch nicht zu ausreichendem Schutz führt und mit lokalen Reizerscheinungen assoziiert ist. Aus diesem Grund wird heutzutage 1 Tropfen 2,5%ige Polyvidonjodlösung angewandt, wobei auch hierbei das Nebenwirkungsprofil bei NG nicht vollständig geklärt ist.

1.6 *Persönlicher Bericht über die Erstversorgung des NG im Kreißsaal an der Universitätsklinik Graz*

Aufgrund der vorliegenden Studie hatte ich die Möglichkeit viel Zeit im Kreißsaal der Universitätsklinik für Gynäkologie und Geburtshilfe Graz zu verbringen und durfte bei ca. 200 Geburten im Kreißsaal bei der Erstversorgung dabeisein. Vorab möchte ich die enge Zusammenarbeit zwischen den Geburtshelfern und den Kinderärzten erwähnen. Seit einigen Jahren wurde diese Zusammenarbeit auch durch die räumliche Nähe erleichtert. Die Kinderstation (Station für Früh- und Neugeborene) grenzt direkt an die Räumlichkeiten des Kreißsaals an und somit kann bei Bedarf das kranke Kind innerhalb von Sekunden zum Kinderarzt gebracht werden. Auf dieser Station sind rund um die Uhr ein Kinderarzt mit neonatologischer Zusatzausbildung sowie mehrere speziell ausgebildete Kinderkrankenschwestern verfügbar.

Ich möchte nun die verschiedenen Abläufe der Geburt anhand der Erstversorgung eines NG beschreiben. Abhängig vom Geburtsmodus ergeben sich unterschiedliche Verhaltensrichtlinien der Ärzte. An sich ist die Erstversorgung jedes NG die gleiche, findet aber durch unterschiedliche Leute und in unterschiedlichen „Settings“ statt. Die Erstversorgung ist primär abhängig vom Zustandbildes des Kindes unmittelbar nach der Geburt. In den folgenden Absätzen möchte ich unterschiedliche „Settings“ beschreiben, wie ich sie wahrgenommen habe. Hiermit möchte ich keinen Anspruch auf Vollständigkeit stellen, sondern möchte lediglich beschreiben, was ich in diesen 6 Monaten (1. September 2009 bis 24. Februar 2010) im Kreißsaal gelernt und gesehen habe. Der Einfachheit halber werde ich die häufigsten Szenarien, die zu einer kinderärztlichen Beziehung führten, in drei Gruppen einteilen.

Die erste Gruppe umfasst „normale“ Geburten, bei denen keinerlei Risikofaktoren von Seiten der Mutter oder Kind vorliegen. Bei solch einer regelrechten Geburt wird die Mutter von einer Hebamme angeleitet und auch das Austreten des Kindes aus dem Geburtskanal wird von dieser unterstützt. In der letzten Phase der Geburt, in der das Kind geboren wird, ist immer ein Geburtshelfer anwesend. Dieser muss wenn erforderlich eingreifen. Bei einer Spontangeburt ist kein Kinderarzt notwendig und die Erstversorgung des Kindes wird durch die Hebamme durchgeführt. Der Geburtshelfer vergibt anhand des Apgar-Scores (siehe 1.5.1) die zutreffende Punkteanzahl. Bei Auftreten einer unerwarteten Komplikation oder bei Beobachten einer Adaptationsstörung des Kindes wird der Kinderarzt gerufen. Allerdings kommt es eher selten vor, dass nach einer komplikationslosen Geburt der Kinderarzt gerufen werden muss. Auch die primäre Erstversorgung durch die Hebamme möchte ich im Detail besprechen. Sobald das Kind geboren wird, beurteilt die geschulte Hebamme das Aussehen, den Muskeltonus und die Hautfarbe des Kindes. Meist werden die Kinder mit Tüchern abgetrocknet und man „wartet“ auf den ersten Schrei bzw. Atemzug des Kindes. Die meisten Kinder, die ich beobachten durfte, haben geschrien, manchmal aber auch erst nach einem von der Hebamme gesetzten Berührungszreiz. Dieser aktive mechanische Reiz wird oft durch Rubbeln, Abtrocknen, Ferse kneifen oder Anpusten gesetzt. Der Zeitpunkt der Abnabelung ist von Hebamme zu Hebamme

und wahrscheinlich von Geburt zu Geburt unterschiedlich. Fast jedes Kind kommt mit einer violett-bläulichen Hautfarbe zur Welt, die sich bei einem gesunden Kind von Minute zu Minute verändert und rosiger wird. Meiner Beobachtung nach gibt es Kinder, die lebhaft schreien, aber auch andere, die nur einen Schrei abgeben und danach ganz ruhig sind. Ich habe auch einige Kinder beobachtet, die unmittelbar nach der Geburt überhaupt nicht geschrien haben und trotzdem einen gesunden Eindruck machten und auch rosig wurden. Sobald die Nabelschnur durchtrennt war, wurde das Kind auf den Oberkörper der Mutter gelegt und mit vorgewärmten Handtüchern eingewickelt. Im Normalfall blieben die Mütter und das Kind noch für ein paar Stunden im Kreißsaal zur Beobachtung und wurden dann auf die Normalstation verlegt. Am nächsten Tag wurde die erste Mutter-Kind-Untersuchung durch den Kinderarzt durchgeführt.

Die Anwesenheit des Vaters ist meiner Einschätzung nach bei 90% der Geburten, bei denen ich anwesend sein durfte, gegeben.

Zum zweiten Szenario zähle ich alle Geburten, bei denen unmittelbar vor bzw. bei der Geburt Risikofaktoren auftreten. In vielen Fällen war eine spontane Geburt nicht möglich und es mussten vaginal operative Techniken eingesetzt werden, um das Kind zu entwickeln. Dazu zählen die Vakuum-Extraktion und die Zangengeburt (Forzeps). Sind diese Techniken nicht möglich wird ein Kaiserschnitt durchgeführt. Welche dieser Methoden zum Einsatz kam, war in erster Linie abhängig von der Herztonkurve des Kindes sowie inwieweit der vorangehende Kindsteil im Geburtskanal fortgeschritten war. Die Geburtshelfer definieren dafür einen speziellen Punkt im Becken. Hat der vorangehende Kopf des Kindes diesen Punkt noch nicht erreicht bzw. wird dieser Punkt in absehbarer Zeit nicht erreicht, ist eine vaginale Geburt unwahrscheinlich und es muss ein sekundärer Kaiserschnitt (Sectio) angestrebt werden. Wenn ein Kind diesen Punkt erreicht hat, wird eine vaginale Entbindung mithilfe der Vakuumextraktion bzw. Zangengeburt (Forzeps) versucht. Bei sehr vielen Geburten beobachtete ich, dass es zu einer verzögerten Austreibungsphase kam bzw. dass der Kopf von selbst nicht tiefer getreten ist. Auf die verschiedenen mütterlichen und kindlichen Indikationen einer vaginal operativen Entbindung möchte ich im Rahmen dieser Arbeit nicht eingehen.

Abgesehen von der komplikationslosen Spontangeburt war die Vakuumextraktion die häufigste Art der Entbindung. Bei dieser wird mit Hilfe einer kleinen Saugglocke am Kopf des Kindes befestigt, und ein Vakuum händisch aufgebaut. Durch Anziehen dieser Saugglocke wird dem Kind der Durchtritt durch den Geburtskanal erleichtert. Heutzutage wird die Zangengeburt nur sehr selten angewandt. Bei diesen beiden Geburtsmodi wird ein Kinderarzt verständigt und ist bei der Geburt anwesend.

Ein weiterer sehr häufiger Risikofaktor ist das Vorliegen mekoniumhaltigen Fruchtwassers. Bei manchen Kindern kommt es noch im Mutterleib zum frühzeitigen Absetzen ihres ersten Stuhl. Unter der Geburt besteht dann die Möglichkeit der Aspiration (Einatmen) von diesem mißfärbigen Fruchtwasser. Dies kann zu schwerwiegenden Problemen der Lunge führen. Bis vor kurzen wurden an der Universitätsklinik Graz Kinder mit mekoniumhaltigen Fruchtwasser routinemäßig intra- und postpartal abgesaugt. Seit neuestem werden im Kreißsaal hauptsächlich avitale Kinder bei Verdacht auf Aspiration von mekoniumhaltigen Fruchtwasser abgesaugt und zwar endotracheal anstatt oropharyngeal.

Beim Vorliegen mißfärbigen Fruchtwassers wurde bis März 2010 auch immer der Kinderarzt zur Geburt hinzugezogen. Seit März 2010 wird das Kind von den Hebammen versorgt und nur bei Vorliegen eines avitalen Kindes der Kinderarzt hinzugezogen.

Die vaginal operativen Methoden sowie das Vorhandensein mißfärbigen Fruchtwassers bringen ein höheres Risiko an Komplikationen beim NG mit sich. Aus diesem Grund wird bei jeder Vakuumextraktion bzw. Zangengeburt der Kinderarzt zur Geburt gerufen. Der Kinderarzt entscheidet innerhalb der ersten Lebenssekunden bis -minuten, inwiefern eine spezielle Erstversorgung notwendig ist. Bei einer regelrechten Adaptation wird dies dokumentiert und das Kind darf bei der Mutter bleiben. Beim Vorliegen einer Adaptationsstörung wird das Kind in den Erstversorgungsraum gebracht und dort von dem Kinderarzt und einer Kinderkrankenschwester versorgt.

Der Kaiserschnitt ist die dritte Möglichkeit, die das Vorhandensein des Kinderarztes notwendig macht, da es auch ein erhöhtes Risiko an Komplikationen mit sich bringt. Auch hier ist die direkte Nähe zwischen Operationssaal und

Erstversorgungsraum bemerkenswert. Das Kind wird von der Hebamme direkt auf den Erstversorgungstisch gelegt und dort von einem schon wartenden Neonatologie Team versorgt.

Meine Beschreibung ist unvollständig und bezieht sich nur auf reife NG. Alle Frühgeborenen (<37. SSW) und Kinder mit angeborenen Missbildungen bzw. erwarteten Komplikationen werden immer primär von einem Kinderarzt versorgt.

Ich möchte hiermit die Erstversorgung an der Univ. Klinik Graz noch einmal zusammenfassen: Beim Vorliegen einer spontanen Geburt ohne Risikofaktoren sowie auch bei mißfärbigem Fruchtwasser wird das Kind primär von der Hebamme und dem Geburtshelfer versorgt. Beim Vorliegen einer Adaptationsstörung oder unerwarteten Probleme wird der Kinderarzt hinzugezogen. Dieser schätzt die Situation schnell ein und versorgt das Kind in dem Geburtszimmer oder bringt das Kind in den Reanimationsraum. Bei vaginal operativen Entbindungen (Sectio, Vakuumextraktion und Zangengeburt) ist immer ein Pädiater anwesend.

1.7. Nahinfrarotspektroskopie

Die NIRS ist eine gut beschriebene und nicht-invasive Methode, die sich die Transparenz des Gewebes zu Nutze macht und somit die Messung der zerebralen Gewebssättigung ermöglicht²⁷. Diese chemische Analysetechnik zur In-vivo Messung der Oxygenierung biologischer Gewebe wurde erstmals 1977 von Jöbsis beschrieben⁸. In dieser Arbeit wurde gezeigt, dass man mit dieser Methode die Sättigung verschiedener biologischer Gewebe wie z.B. Gehirn, Muskel oder Niere messen kann. Seither wurden zahlreiche Studien mit diesem Messverfahren bei Erwachsenen und Kindern publiziert^{28 29 30}.

Die NIRS verwendet kurzwelliges Infrarotlicht, das zwischen 700-1000 nm liegt. Je kürzer die Wellenlänge, desto niedriger ist die Eindringtiefe in das Gewebe; deshalb kann sichtbares Licht (450-700 nm) nur ca. 1 cm tief in die Haut eindringen. Auf der anderen Seite ist bei über 900 nm die Absorptionsfähigkeit von

Wasser sehr stark²⁹. Die optimale Wellenlänge im medizinischen Bereich liegt zwischen 650-900 nm²⁷, da diese Schädel, Haut und Fett durchdringen kann. Licht wird ausgesandt und von verschiedenen Farbträgern im Blut unterschiedlich absorbiert. Zu diesen Farbstoffen gehören Hämoglobin, Myoglobin (Mb) und Cytochrom C Oxidase. Das Absorptionsspektrum (siehe Abbildung 3) dieser Stoffe ist bekannt und ist abhängig von deren Oxygenierungszustand.

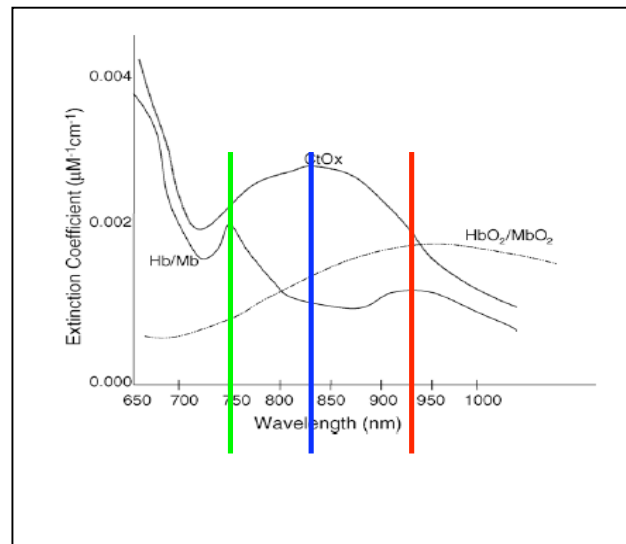


Abbildung 3 NIRS-Absorptionsspektren für oxygeniertes Hämoglobin (HbO₂), oxygeniertes Myoglobin (MbO₂) bei 920nm [rot]; desoxygenierte Hämoglobin (Hb), Mb bei 760nm [grün]; Cytochrom C Oxidase (CtOx) bei 830nm [blau]³¹. Die Markierungen zeigen das jeweilige Absorptionsmaximum an

So liegt das Absorptionsmaximum von oxygeniertem Hb (HbO₂) bei 920nm und das von desoxygeniertem Hämoglobin (Hb) bei 760nm. Teilweise überschneiden sich die Absorptionsmaxima wie z.B. von Myoglobin (Mb) und Hb³². Darum ist eine Unterscheidung dieser zwei Stoffe mittels NIRS nicht möglich. Das Mb im Muskelgewebe absorbiert das NIRS-Licht nur zu etwas 10% und kann somit vernachlässigt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Absorptionseigenschaften können die Konzentrationen von HbO₂ und Hb im Gewebe gemessen werden³³. Durch das Berechnen der Summe dieser beiden erhält man die Veränderung im Gesamthämoglobin (HbT).

Die physikalische Grundlage bildet das Lambert-Beer'sche-Gesetz. Licht wird bei Durchdringen einer Lösung mit Chromophoren (Farbträgern) absorbiert und in ihrer Intensität abgeschwächt²⁷.

$$A = \varepsilon \cdot c \cdot d$$

A... Absorption
ε... Extinktionskoeffizient
c... Konzentration
d... Schichtdicke bzw. „path length“³¹

Durch Umformulieren kann man die Konzentration der Chromophoren wie folgt berechnen:

$$c = A / (\varepsilon \cdot d)$$

In einem Fotometer kann man mithilfe dieser Formel die Konzentrationen von Farbträgern genau berechnen, da alle Variablen bekannt sind.

Bei der Messung von biologischem Gewebe muss diese Formel aufgrund folgender Punkte modifiziert werden: Erstens wird das Licht nicht nur durch Absorption abgeschwächt, sondern auch durch Streuung²⁷. Der Anteil der Lichtabschwächung durch Streuung ist unbekannt. Zweitens verlieren Photonen schon nach wenigen mm im Gewebe ihre lineare Richtung³⁴. Zusätzlich liegt ein nicht-linearer Weg zwischen Lichtemitter und Lichtdetektor vor³¹. Um diese Gegebenheiten im Gewebe zu berücksichtigen, werden folgende Punkte in die Berechnung eingeschlossen. Um den verlängerten Weg der Photonen im Gewebe auszudrücken wurde der „Differential pathlength factor“ (DBF) eingeführt und mit der Schichtdicke multipliziert. Mittlerweile ist dieser für einige Gewebe wie z.B. das Gehirn oder den Muskel bekannt, wodurch die Chromophorenkonzentration berechnet werden kann. Auf die individuelle Variabilität dieses DBF kann hier keine Rücksicht genommen werden³³. Weiters ist der DBF auch abhängig von der verwendeten Wellenlänge sowie die Zusammensetzung des Gewebes. Da während einer kurzen Messung die Zusammensetzung gleich bleibt, muss der DBF nicht verändert werden²⁷. Ein Zusammenhang zwischen dem DBF und dem Abstand zwischen Emitter und Detektor ist auch gegeben. Wenn dieser Abstand allerdings > 2,5 cm beträgt, kann der DBF als konstant beschrieben werden³⁵. Die Streuung des Lichtes im Gewebe ist zwar unbekannt, doch kann ein additiver Term hinzugefügt werden. Auch hier besteht die Annahme, dass die Streuung

während einer kurzen Messung gleich bleibt²⁷. Somit kann man eine Veränderung in der Abschwächung des Lichtes auf Änderungen in deren Absorption durch die Chromophore zurückführen³⁶.

Somit lautet die modifizierte Formel:

$$A = \alpha \cdot c \cdot d \cdot B + G$$

<p>α ... spezifische Absorptionskoeffizient für die Chromophore einer bestimmten Wellenlänge B ... DBF G ... Korrekturfaktor, der den Verlust durch die Streuung im Gewebe angibt</p>

B ist zwischen 3-6 mal größer als der Interoptodenabstand³⁷ und ist für manche Gewebe schon bekannt³³. Die genaue Berechnung dieses Wertes stellt bis heute eines der größten Probleme der NIRS dar. Es wurden immer wieder Abweichungen zwischen Versuchsobjekten beobachtet³⁸.

Es gibt verschiedene NIRS- Geräte und Techniken, doch ist der Grundaufbau bei allen gleich. Man braucht eine Lichtquelle, die verschiedene Wellenlängen aussenden kann, ein fiberoptisches Kabel, zwei Optoden (Emitter und Detektor), eine Photonendetektorhardware³¹ und ein Computersystem. Dieses berechnet die Lichtabschwächung und die Konzentrationsänderungen der Farbträger²⁷.

Für unsere Studie benutzen wir ein Gerät, das mit der „spatially resolved spectroscopy“- Technik funktioniert. Diese Technik wird in Abbildung 4 gezeigt und unterscheidet sich von anderen Methoden durch mehrere (in unserem Fall zwei) Lichtdetektoren, die in unterschiedlichem Abstand zur Lichtquelle (Emitter) und in einer speziellen Anordnung liegen³⁰. Ein Detektor liegt näher (proximaler) zum Emitter als der andere. Dadurch kann die Gewebssättigung oberflächiger Schichten wie Haut, Fettgewebe und Knochen berechnet und berücksichtigt werden. Der Einfluss dieser oberflächigen Schichten kann somit reduziert werden und man erhält eine Gewebssättigung, die in erster Linie tiefere Gewebsschichten wie z.B. das Gehirn betreffen³⁰.

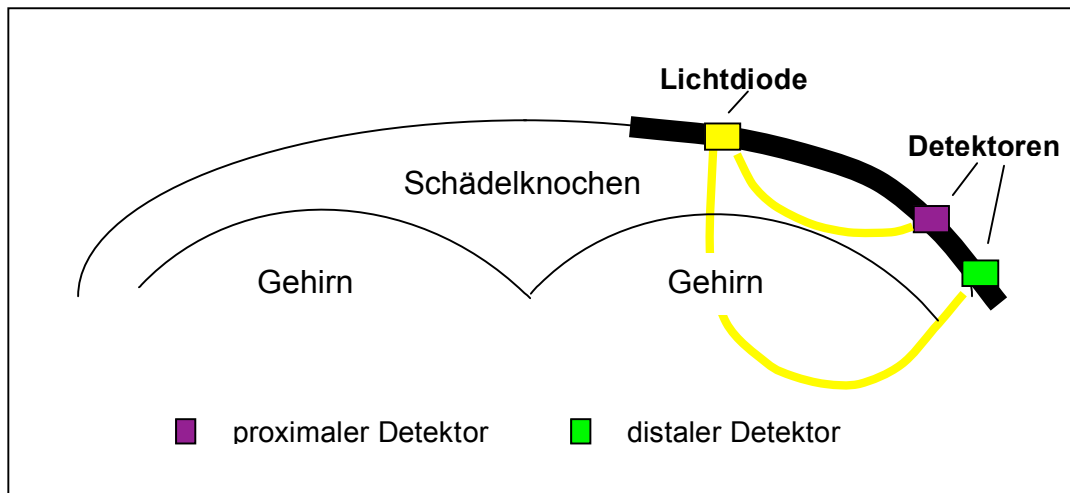


Abbildung 4 Graphische Darstellung der „spatially resolved spectroscopy“-Methode³⁹

Diese Gewebssättigung wird als regionale zerebrale Sättigung (rSO₂brain) oder auch als „tissue oxygenation index“ (TOI) bezeichnet⁴⁰ und liefert absolute Werte für die regionale zerebrale O₂-Sättigung⁴¹. Berechnet wird diese durch die Formel:

$$rSO_2\text{brain} (\%) = \frac{HbO_2}{(HbO_2 + Hb)} \cdot 100$$

HbO ₂ ... oxygeniertes Hb
Hb... desoxygeniertes Hb

Die Messwerte setzen sich aus arteriellen (10%), kapillären (20%) und zum Großteil aus venösen (70%) O₂-Sättigungen zusammen³². Generell liegt der typische Wert zwischen 60-80%³⁷.

In der Literatur und auch im klinischen Einsatz befinden sich eine Vielfalt von NIRS-Geräten. Es werden aber auch viele verschiedenen Methoden eingesetzt, auf die hier nicht näher eingegangen wird. Der Einsatz und die Art des Gewebes stellen unterschiedliche Ansprüche. Im Bereich der Neonatologie werden vor allem weiche und flexible Sonden für die Sensoren verwendet, um die empfindliche Haut nicht zu schädigen. Auch die Größe der Sensoren muss für die Anwendung an NG und Säuglingen angepasst werden.

1.7.1 NIRS Messungen in der Neonatologie

Mithilfe der NIRS ist eine kontinuierliches Monitoring der Veränderungen der zerebralen Oxygenierung sowie auch Veränderungen im Bereich der Hämodynamik möglich⁴².

Die NIRS Technologie fand ihren ersten Einsatz im Bereich der Neonatologie im Jahre 1985 durch Brazy and Lewis⁴³, die die zerebrale Oxygenierung bei kranken Frühgeborenen untersuchten. In den folgenden Jahren wurde die zerebrale Oxygenierung und auch die zerebrale Hämodynamik mittels NIRS während Herzoperationen beschrieben⁴⁴. Viele Forschungsgruppen beschäftigen sich mit der zerebralen Oxygenierung um mehr Wissen bezüglich einer adäquaten O₂-Versorgung zu erhalten. Diese ist von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung und auch die normale Funktion des Gehirns⁴³. Neue Erkenntnisse könnten dabei helfen, Krankheitsbilder, die mit einer Minderversorgung des Gehirn einhergehen, besser zu verstehen und in Zukunft auch therapeutische Interventionsmöglichkeiten zu finden⁴⁵.

Das Einsatzgebiet der NIRS Technologie ist sehr vielfältig; z.B. wurden Studien während Lebertransplantation bei Erwachsenen⁴⁶, Patienten mit akutem Abdomen⁴⁷ sowie die Diagnosestellung von Kompartmentsyndrom bei Kindern⁴⁸ beschrieben.

Bei Neu- und Frühgeborenen gibt es bereits Studien über die zerebrale Oxygenierung am ersten Lebenstag⁹ sowie auch in den ersten Lebenswochen^{49 50}

^{51 52 53}

Mit der Veränderung der zerebralen Gewebsoxygenierung unmittelbar nach der Geburt haben sich Fauchère et al.¹¹ und auch Isobe et al.¹⁰ beschäftigt. Isobe et al.¹⁰ beschäftigten sich mit der Frage, ob der Geburtsmodus (Kaiserschnitt oder Spontangeburt) einen Einfluss auf die zerebrale Oxygenierung der NG unmittelbar nach der Geburt hat. In dieser Studie wurde bei 26 gesunden NG die „cerebral hemoglobin oxygen saturation“ (SbO₂) untersucht. Dieser Wert wird im Gegensatz zur SaO₂ mit Hilfe einer Formel berechnet und nicht direkt gemessen. Aufgrund der ähnlichen Formel sind SbO₂ und SaO₂ miteinander vergleichbar. Es wurden zwei Gruppen unterschieden. Die erste Gruppe bestand aus 20 NG, die spontan zur Welt kamen. In der zweiten Gruppe wurden 6 Kinder, die per Kaiserschnitt geboren wurden, untersucht. In dieser kleinen Patientengruppe hatten die erste

Gruppe zwei Minuten nach der Geburt signifikant niedrigere SbO_2 Werte als die Gruppe, die mittels Kaiserschnitt zur Welt kamen. Nach 8,5 Minuten zeigte sich kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Nach 15 Minuten konnten in der zweiten Gruppe deutlich niedrigere SbO_2 Werte festgestellt werden. Zusätzlich zur zerebralen Oxygenierung wurde auch SaO_2 mittels Pulsoxymetrie gemessen. Es konnte jedoch keinen signifikanten Unterschied bezüglich SaO_2 zwischen den zwei Gruppen erkannt werden. Somit postulierten die Autoren erstmalig, dass der Geburtsmodus einen merklichen Einfluss auf die zerebrale Oxygenierung unmittelbar nach der Geburt hat¹⁰.

Fauchère et al. publizierten 2009 eine weitere Studie, die sich auch mit der zerebralen Oxygenierung unmittelbar nach der Geburt beschäftigte¹¹. Das untersuchte Patientenkollektiv setzte sich aus 20 NG, die mittels elektivem Kaiserschnitt zur Welt kamen, zusammen. Dabei konnten sie einen signifikanten Anstieg des zerebralen HbO_2 und dem TOI bis zur 8. Lebensminute beobachten.

Bis jetzt gibt es noch keine veröffentlichte Studie, die ein größeres Patientenkollektiv nach Spontangeburt auf die Veränderungen der zerebralen Oxygenierung sowie deren Korrelation mit der arteriellen Sättigung untersuchte.

1.7.2 Pulsoxymetrie

Die Pulsoxymetrie stellt ein Spezialverfahren der NIRS dar. Dieses nicht-invasive Verfahren hat sich weltweit im Routinebetrieb der Medizin zur Messung der arteriellen Sättigung durchgesetzt. Auch hier besteht das Grundprinzip darin, dass man das unterschiedliche Verhalten von HbO_2 und Hb gegenüber der Lichtabsorption für eine Differenzierung nutzt. Das Gerät misst die Absorption des Lichtes bei 660nm und 910nm und zur Tarierung auch mit Umgebungslicht. Dadurch kann die Konzentration des HbO_2 bei 660nm bzw. des HbT bei 910nm gemessen werden. Die Konzentration des HbT entspricht der Summe von HbO_2 und Hb .

$$SaO_2 (\%) = \frac{HbO_2}{HbT} \cdot 100$$

SaO_2 ...arterielle Sättigung HbO_2 ... oxygeniertes Hb HbT ...Gesamt-Hb (HbO_2+Hb)

Bei diesem Messverfahren wird die zeitliche Änderung der Absorption bei verschiedenen Wellenlängen, die durch die Pulsation des Blutes hervorgerufen werden, gemessen. Aus den unterschiedlichen Amplituden bei den verschiedenen Wellenlängen lässt sich durch die NIRS die O₂-Sättigung des Hämoglobins berechnen. Da nur die zeitliche Änderung der Absorption in die Berechnung eingeht und nicht der Absolutwert der Absorption der unterschiedlichen Wellenlängen, misst die Pulsoxymetrie nur die O₂-Sättigung des strömenden Blutes.

Die Normwerte des gesunden Erwachsenen und Kindern liegen normalerweise bei 95-100%. Unmittelbar nach der Geburt sind diese Werte bei NG jedoch deutlich niedriger und steigen innerhalb der ersten Lebensminuten auf > 90% an^{3 4 5}.

Eine andere Methode zur Messung der SaO₂ stellt die Methode der invasiven direkten Bestimmung mittels der Blutgasanalyse dar, auf die in dieser Arbeit nicht eingegangen wird.

Um die SaO₂ mittels Pulsoxymetrie zu messen, wird ein Sensor auf eine geeignete (leicht zugängliche) Körperstelle angebracht. Bei Erwachsenen liegt diese im Bereich des Fingers, jedoch sind das Ohrläppchen, Zehen, Nase und Zunge auch geeignete Körperstellen für die Anlage des Sensors. Da die Signalintensität am Finger bei NG zu gering ist, wählt man entweder das Handgelenk (präduktal) bzw. Fußgelenk (postduktal) als Abnahmestelle. Diese zwei Abnahmestellen ergeben allerdings unterschiedliche Werte⁷, da sich präduktal bzw. postduktal gemessene Werte in der postnatalen Phase signifikant voneinander unterscheiden.

Zusätzlich gibt der Pulsoxymeter auch die Hf aus den gemessenen Pulswellen an. Darauf hinzuweisen ist, dass mit dieser Methode ausschließlich die O₂-Sättigung des pulsierenden Blutes gemessen wird und nicht wie bei anderen Messverfahren die Sättigung im Gewebe.

1.7.3 Vergleich von NIRS mit Pulsoxymetrie

Beide Methoden funktionieren mit Nahinfrarotlicht und liefern einen prozentuellen Wert über die O₂-Sättigung. Trotzdem kann man aus technischen Gründen diese Methoden nicht direkt miteinander vergleichen. Die Aussagekraft sowie die

klinische Anwendbarkeit beider Methoden sind unterschiedlich. Folgend möchte ich drei wesentliche Unterschiede dieser beiden Technologien zusammenfassen: Erstens werden unterschiedliche Wellenlängen zur Messung verwendet. Aufgrund der höheren Wellenlänge in der NIRS kann das Licht tiefer in das menschliche Gewebe eindringen als das verwendete Licht in der Pulsoxymetrie.

Ein zweiter wesentlicher Unterschied besteht darin, was gemessen wird. In der Pulsoxymetrie wird ausschließlich das arterielle Kompartiment im Gewebe gemessen, d.h. das Verhältnis von HbO₂ zum HbT im pulsierenden Blut. Die NIRS kann keinen Unterschied zwischen den verschiedenen Anteilen im Gewebe diskriminieren und misst somit eine allgemeine Oxygenierung im Gewebe. Dieses Gewebe setzt sich aus arteriellen, venösen und kapillären Anteilen zusammen. Bei der Verteilung des Blutvolumens im Gewebe nimmt man an, dass der venöse Teil mit 70% am prominentesten vertreten ist, der kapillare Wert rund 20% und der arterielle Teil 10 % beträgt³².

Ein dritter wichtiger Unterschied besteht darin, dass NIRS mehrere Wellenlängen verwendet und somit eine Differenzierung mehrere Farbträger im Blut ermöglicht²⁷.

1.7.4 Pulsoxymetrie in der Neonatologie

1987 wurde erstmals eine Studie publiziert, die NG im Kreißsaal mittels Pulsoxymetrie überwachte¹. Seit damals gibt es zahlreiche Studien, die den Anstieg der SaO₂ unmittelbar nach der Geburt beschreiben¹⁻⁶.

Beim reifen NG während einer regelrechten Adaptation nach Geburt dauert es 5 Minuten um eine arterielle Sättigung von > 80% zu erreichen und fast 10 Minuten bis die Werte > 90% liegen³⁻⁵. Kamlin et al.³ konnte bei einem Kollektiv von 92 NG 1 Minute nach der Geburt einen Mittelwert von 63% erfassen. Wie schon beschrieben, konnten Mariana et al.⁷ einen signifikanten Unterschied zwischen prä- und postduktaler Messung der SaO₂ zeigen. Präduktal finden sich signifikant höhere Sättigungswerte als postduktal nach der Geburt.

In der Erstversorgung und auch beim kritisch kranken NG ist die Überwachung mittels Pulsoxymetrie ein sehr wichtiges Instrument um arterielle Sättigungsabfälle sowie Bradykardien frühzeitig zu erkennen. Die Einstellung der künstlichen Beatmung ist neben dem klinischen Eindruck auch abhängig von den

Sättigungswerten. Inzwischen gehört die Pulsoxymetrie zur standardisierten Überwachung und Dokumentationsroutine auf neonatologischen Stationen.

1.7.5 Fractional tissue oxygen extraction (FTOE)

Die FTOE ist ein Maß dafür, wieviel O₂ im Gewebe aus dem arteriellen Blut extrahiert wird.

$$\text{FTOE} = \frac{\text{SaO}_2 - \text{rSO}_2\text{brain}}{\text{SaO}_2}$$

Der Normalbereich liegt bei etwa 20% bis 30%. Eine erhöhte O₂-Extraktion kann verschiedene Ursachen haben. Einerseits kann die Sauerstoffzufuhr reduziert sein, sodass mehr O₂ aus dem Blut extrahiert werden muss. Andererseits kann der Sauerstoffverbrauch des Gewebes erhöht sein.

Ziel der Studie

Da bisher in der Literatur kaum Daten zu unmittelbar postpartal gemessener zerebraler Oxygenierung bei gesunden NG vorliegen, wurde die vorliegende Studie in ihrer Konzeption in einem prospektiven und deskriptiven Design angelegt.

Es wurden dabei die regionale Gewebssättigung des Gehirns (rSO₂brain) mittels NIRS sowie die SaO₂ mittels Pulsoxymetrie bei NG innerhalb der ersten 15 Lebensminuten gemessen.

2. Material und Methoden

2.1 Pulsoxymeter

Der in der vorliegenden Studie verwendete Pulsoxymeter (Philips IntelliVue X2 Monitor, Wien, Österreich) wurde von der Firma Philips freundlicherweise zur Verfügung gestellt und in Abbildung 5 dargestellt.



Abbildung 5 Philips IntelliVue X2 Monitor

Dieses Gerät verwendet die Philips FAST Messtechnologie. Wir haben uns für dieses Gerät entschieden, da seine vielen Eigenschaften Vorteile gegenüber anderen Geräten gebracht haben. Da ich für die Messung zwei Geräte (Pulsoxymeter, INVOS) benötigte und die Messungen in einem großen Kreißsaal stattfanden, war ich auf ein mobiles System angewiesen, das auch nicht viel Platz in Anspruch nahm. Die größten Vorteile dieses Geräts waren durch die Handlichkeit der kleinen Größe (< 19 x 10 x 9 cm) gegeben sowie die Möglichkeit auf eine kontinuierliche Stromversorgung zu verzichten, da das Gerät für den Zeitraum der Messung mit Akkubetrieb lief. Weitere Vorteile brachten die automatische Speicherung der Messwerte alle 12 Sekunden bzw. jede Minute sowie der leicht zu fixierende Sensor für die Abnahme der Werte.

2.3 INVOS Cerebral & Somatic Oximeter, Covidien, USA

Mit dem Invos Cerebral & Somatic Oximeter (Abbildung 6) wurde die rSO_2 brain bei den NG gemessen. Der Invos verwendet die „spatially resolved spectroscopy“ Technik oder auch „multi distance spectroscopy“ genannt. In diesem Fall gibt es zwei Detektoren, die die ankommende Lichtintensität messen. Die Lichtquelle sendet Licht in einer Wellenlänge von 730 und 810 nm aus⁵⁴.

Für meine Messung benötigte ich einen Sensor, der speziell für zerebrale Messungen bei kleinen Kindern geeignet ist. Dieser besitzt eine spezielle Anordnung der Detektoren, mit dem der Einfluss oberflächlicher Strukturen wie Haut und Knochen reduziert werden kann.



Abbildung 6 Foto des NIRS-Messgerätes und des Sensors für die zerebralen Messwerte.

2.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Zu dem von mir verwendeten Patientenkollektiv zählten alle reifen NG mit einem Gestationsalter > 37. SSW nach komplikationsloser Spontangeburt und ohne Bedarf weiterer medizinischer Interventionen.

Von der Studie ausgeschlossen wurden NG nach geburtshilflichen Maßnahmen wie Vakuumextraktion, Zangengeburt und sekundärem Kaiserschnitt, NG mit kongenitalen Malformationen und NG, bei welchen eine Adaptationsstörung vorlag.

2.3 Durchführung der Messung

Die größte messbare Veränderung der O₂-Sättigung im Blut und den Geweben findet man in den ersten Lebensminuten des Kindes³⁻⁵. Deshalb sollte wegen der wissenschaftlich relevanten Fragestellung die Messung nahezu unmittelbar nach der Geburt des Kindes stattfinden. Andererseits musste auf die persönlichen, interaktiven und bindungsrelevanten Aspekte der Geburtssituation besondere Rücksicht und spezifische Aufmerksamkeit für die individuelle und jeweils

spezifisch unterschiedliche Situation jeder Kreissenden und ihre Kindes genommen werden.

Die Geburt ist ein emotional besetztes, spannendes und zugleich intimes Ereignis. Ein Moment, der für viele Eltern meist unvergesslich bleibt. Das Erlebnis selbst stellt physisch und psychisch einen existenziellen Ausnahmezustand dar. Für die Untersuchungssituation war deshalb ein Kompromiss notwendig, einerseits diesen intimen Prozess so wenig wie möglich zu stören und andererseits die Messung der O₂-Sättigung so früh wie möglich zu beginnen. Ganz wichtig war auch, dass das Kind gleich auf den Oberkörper seiner Mutter gelegt werden durfte. Daher war es oftmals notwendig, Rücksicht auf bestimmte spezielle und situative Gegebenheiten wie Wünsche der Hebamme bzw. der Eltern zu nehmen. Unten angeführt ist die Beschreibung der Durchführung einer Messung im Normalfall ohne Rücksicht auf die Einzigartigkeit jeder Geburt und auf evtl. Abweichungen im zeitlichen Verlauf.

Es wurde die Einverständniserklärung der Eltern (siehe Anhang) im Vorfeld eingeholt. Anschließend wartete ich auf die Phase kurz vor der Geburt. Sobald diese in absehbarer Zeit bevorstand, stellte ich den Untersuchungswagen mit zwei Messgeräten (INVOS Cerebral & Somatic Oximeter, Covidien, USA; Pulsoxymeter: Philips IntelliVue X2, Österreich) direkt in dem Zimmer ab, in welchem die Geburt stattfinden sollte. Um ein Vertrauensverhältnis zu den werdenden Eltern zu erhalten, musste ich schon vor der Geburt immer wieder bei den Eltern vorbeischaun und war in der Austreibungsphase auch immer im Zimmer anwesend.

Der Zeitpunkt, bei welchem der gesamte Körper des NG vollständig geboren wurde, war als Zeitpunkt 0 definiert. Ab dann wurde das Alter des Kindes mit einer Stoppuhr festgehalten. Ich brachte den Sensor für die Messung der rSO₂brain innerhalb der ersten Lebensminute auf der rechten Schläfe (fronto-parietal) des Kindes an. Der Lichtsensor wurde durch ein Stirnband der Firma Medin befestigt (Mütze zur Fixierung des Medijet nCPAP Generators Größe M). Davor musste aber die Haut des Kopfes abgetrocknet werden, damit der Sensor direkt auf der Haut zu liegen kam. Blut, Käseschmiere sowie Fruchtwasser stören die Signalübertragung und das Invos Messgerät hätte kein Signal geliefert. Danach

wurde der zweite Sensor (Pulsoxymetrie) am rechten Handgelenk (präduktal) fixiert.



Abbildung 7 Fotos zweier NG während einer Messung

Sobald die Hebamme abgenabelt hatte, wurde das Kind auf den Oberkörper der Mutter gelegt. Manchmal kam es vor, dass erst dann der Sensor des Pulsoxymeters fixiert werden konnte. Beim ersten Signal der rSO_2 brain und SaO_2 Wert notierte ich das Alter des NG in Minuten. Das Invos Messgerät sowie der Pulsoxymeter speicherte die Daten und durch das Mitstoppen konnte das jeweilige Alter des Kindes zu den gemessenen Werten eruiert werden. Anschließend wurden beide Sensoren sowie auch das Stirnband entfernt und die Daten schriftlich auf einem Protokollblatt (siehe Anhang) festgehalten.

Die Tatsache, dass der genaue Zeitpunkt einer Spontangeburt bei keinem der gemessenen Kinder im Vorfeld bekannt war, machte die Studienführung schwierig, zeitaufwändig und schwer planbar.

2.4 Ethische Aspekte

Die Studie wurde durch die Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz bewilligt. In Zusammenarbeit der Neonatologischen Abteilung der Univ. Klinik für Kinder- und Jugendheilkunde mit der Abteilung für Geburtshilfe konnte dann die weitere Vorbereitung beginnen. Diese bestand in einer Information aller mitbeteiligten Mitarbeiter im Kreißsaal über die bevorstehenden geplanten neuen

Messungen, deren technische Durchführung und der Ein- und Ausschlusskriterien der Studie.

Zur Teilnahme an der Studie war das Einverständnis der unmittelbar vor der Geburt stehenden Eltern erforderlich. Diese waren Schwangere, bei welchen die zuständigen KreißsaalärztInnen entschieden hatten, dass die Geburt innerhalb der nächsten Stunden (zwischen 0,5 und 20 Stunden) bevorstünde d.h. diese Frauen zur Entbindung im Kreißsaal blieben und nicht wieder auf die Station transferriert wurden. Nach dieser Entscheidung wurden die Eltern über die Studie aufgeklärt. Frauen, die schon kurz vor der Geburt standen und unter starken Schmerzen litten, wurden nicht mehr in die Studie aufgenommen, um sie nicht zusätzlich zu belasten.

Während der unverbindlichen ersten Aufklärung wurden Ablauf, Zweck und der Nutzen der Studie genau und verständlich erklärt. Danach erhielten die Eltern die Elterninformation (siehe Anhang) zum Durchlesen. Bei Zustimmung bekundeten die Eltern ihr Einverständnis durch das Unterschreiben dieser Elterninformation. Die Eltern wurden darauf hingewiesen, dass diese Unterschrift keine Verpflichtung darstellte, sondern es sich lediglich um eine unverbindliche Einverständniserklärung handelte, die zu jedem Zeitpunkt mündlich revidiert werden konnte. Dies hätte die sofortige Abbrechung der Messung als Konsequenz gehabt. Diese Entscheidung der Eltern kam allerdings in diesem Patientenkollektiv kein einziges Mal vor. Aus ethischen und psychologischen Gründen wurde sehr sensibel auf eine qualitativ hochwertige und persönliche Aufklärung mit genauer Ablaufbeschreibung Wert gelegt. Gerade in Rücksicht auf die Einmaligkeit und Ausnahmesituation rund um die Geburt wurde auch auf die individuellen Bedürfnisse der Schwangeren und deren persönliche Befindlichkeit spezielle Rücksicht genommen.

2.5 Qualitätskriterien

Alle Messungen sowie die schriftliche Dokumentation wurden von mir durchgeführt.

1. **Qualitätskriterium:** Vollständigkeit der Daten

Es wurden insgesamt drei Parameter (SaO_2 , Hf, rSO_2brain) gemessen. Aufgrund der zeitlichen Verzögerung durch Anbringen der Sensoren sowie der Zeit, bis ein Wert angezeigt wurde, konnte der erste Wert erst nach 1-2 Minuten erhoben werden. Deshalb wurden für die Auswertung die Messdaten ab der vollendeten 2. bis zur 15. Lebensminute herangezogen, d.h. in 14 Minuten (2.-15. Lebensminute) stellten 42 (14 mal 3 Parameter) pro Kind 100% der Messwerte dar. Insgesamt sind das 2646 Werte für 63 gemessene Kinder mit jeweils 882 Werten für die Parameter SaO_2 , Hf und rSO_2brain . FTOE Werte wurden wir in Kapitel 1.7.5 beschrieben.

2. **Qualitätskriterium:** $\text{rSO}_2\text{brain} < \text{SaO}_2$

Aus physiologischen Gründen sollte $\text{rSO}_2\text{brain} < \text{SaO}_2$ sein. Bei Nicht-Erfüllen dieses Kriteriums wurden beide Werte exkludiert, da es sich dabei um Messfehler handeln musste.

2.6 Statistische Auswertung

Die Mittelwerte der rSO_2brain wurden für jede Lebensminute pro Kind berechnet. Somit entspricht der Wert bei vollendeter Lebensminute 2 dem Mittelwert der 10 erhobenen Werte (alle 6 Sekunden) nach vollendeter 1. Lebensminute bis zur vollendete 2. Lebensminute. In den Tabellen wurden die Mittelwerte aller Kinder zu den jeweiligen Lebensminuten angegeben.

Für die SaO_2 und Hf wurde jeweils der am Ende jeder Lebensminute angezeigte momentane Wert herangezogen und daraus für alle Kinder ein Mittelwert berechnet.

In den Tabellen wurden Mittelwerte (MW) \pm Standardabweichungen (SD) in 95% Konfidenzintervall (KI) angegeben. Ein p-Wert $< 0,05$ (*) wird als signifikant und ein p-Wert $< 0,01$ (**) als hoch signifikant bezeichnet. Die statistische Auswertung und die graphische Darstellung der Daten erfolgte mit SPSS 17.0.3 (SPSS Inc. Chigago, IL, USA). Es wurde die Methode linear-mixed models für die Auswertung der Daten verwendet

3. Ergebnisse

3.1. Patientenkollektiv

In der Zeit von 14.10.2009 bis 25.2.2010 wurden 145 werdende Mütter bzw. Eltern im Kreißsaal der Universitätsklinik für Gynäkologie und Geburtshilfe Graz in einem ausführlichen Gespräch vollständig über die vorliegende Studie informiert. Bei allen 145 Probanden waren die primäre Einschlusskriterien erfüllt d.h. einerseits vollendete 37. SSW und andererseits eine Spontangeburt von Seiten der Ärzte und der Mütter geplant. Die Entscheidung zur Partizipation an der Studie erfolgte also meist erst unmittelbar vor bzw. bei der Geburt. Aus diesem Grund teilt sich das Patientenkollektiv in drei Gruppen (Abb. 9). In die Gruppe „Gemessen“ fallen 63 NG mit einer vollständigen Messung innerhalb der ersten 15 Lebensminuten. Die Gruppe „Nicht-gemessen“ fallen 71 NG, bei denen eine Messung nicht möglich war. Der Grund dafür wird später noch genauer erläutert. Die letzte Gruppe „Nicht zugestimmt“ sind 11 Mütter bzw. Eltern, die nach der Aufklärung nicht bereit waren dieser Untersuchung zuzustimmen. Die Gründe dafür werden auch im Weiteren erläutert.

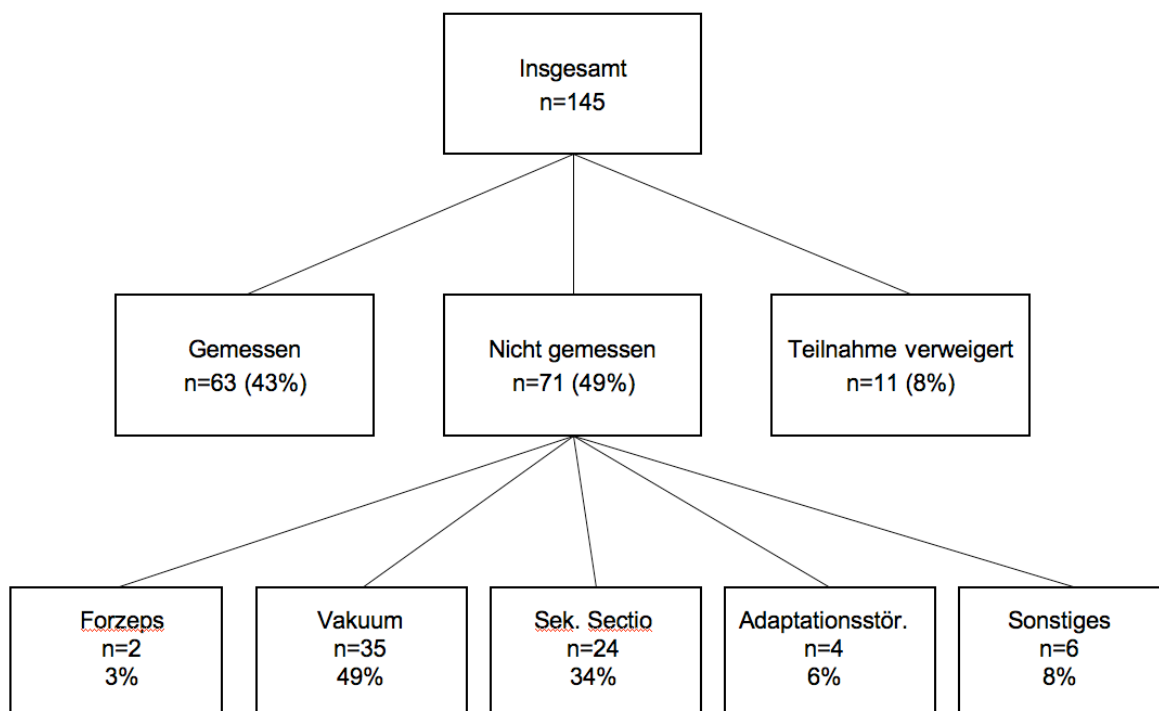


Abbildung 8 Patientenkollektiv

Nicht gemessen:

Die Gruppe „Nicht gemessener“ NG hat im Laufe des Geburtsfortschritts die Einschlusskriterien aus verschiedenen Gründen nicht erfüllt. Über die Hälfte dieser Kinder wurden vaginal-operativ entbunden. Über ein Drittel der Nicht-Gemessenen Kinder wurden operativ, mittels Sectio caesarea entbunden. Dabei handelte sich es um eine sekundäre Sectio, da primär eine Spontangeburt geplant war. Gründe dafür waren z.B. ein Geburtsstillstand oder drohende Minderversorgung (Asphyxie) des Kindes. In diesen Fällen mussten die Kinder operativ entbunden werden.

Eine kleine Gruppe von Kindern hatten kurz nach der Geburt Probleme zu adaptieren und mussten teilweise vom Kinderarzt versorgt werden. Bei diesen Kindern stand die medizinische Erstversorgung im Vordergrund, sodass keine Messung durchgeführt werden konnte. Unter die Gruppe „Sonstige“ fallen Kinder, die zur gleichen Zeit geboren wurden wie ein anderes Kind aus der ersten „Gemessen“ Gruppe. Da ich diese Untersuchungen alleine durchführte und auch nur ein Gerätewagen zur Verfügung stand, war die gleichzeitige Messung zweier Kinder nicht möglich.

Diese angeführte Aufzählung lässt eine sehr hohe Prozentzahl an operativ-unterstützten Geburten vermuten. Es haben jedoch sehr viele Frauen eine Einverständnis zur Messung gegeben, die später spontan entbunden haben, wo ich allerdings zum Zeitpunkt der Geburt nicht mehr anwesend war. Diese Anzahl konnte aufgrund fehlender Dokumentation nicht im Baumdiagramm angegeben werden. Deswegen handelt es sich hierbei um keine repräsentative Aufzählung bezüglich des Geburtsmodus.

Teilnahme verweigert:

Ein kleiner Prozentsatz (8%) der Mütter bzw. Eltern haben einer Messung im Rahmen dieser Studie nicht beigestimmt. Nach der Aufklärung wurden sie unverbindlich gefragt, ob sie für diese Entscheidung eine Erklärung abgeben könnten. Da es wichtig erschien, deren Motiv zu erfahren, wurden die Begründungen genau dokumentiert. Folgende Sätze der Mütter bzw. Väter sind gefallen: „...sieht kein Grund der Notwendigkeit.“, „...habe Angst vor Strahlung.“, „...das ist zu viel Stress für das Kind.“, „Ich möchte so wenig Leute wie möglich bei

der Geburt dabei haben.“, „ ...wenn mein Baby gesund ist, brauch ich das nicht.“, „Ich will dieses Stirnband nicht.“, „Habe Angst vor den technischen Geräten“.

Insgesamt fiel der Prozentsatz der Nichtzustimmungen viel geringer als erwartet aus, da die ersten 15 Lebensminuten eines Kindes einen sehr emotionalen und intimen Zeitraum darstellen. Deswegen kann die an sich positive Kooperationsbereitschaft als hoch betrachtet werden, unabhängig davon, ob die Messung dann stattgefunden hat oder nicht.

Gemessen:

63 von 145 Kindern erfüllten die Einschlusskriterien. Alle weiters angeführten Ergebnisse beziehen sich nur auf diese Patientengruppe und bei den folgenden Werten handelt es sich um MW \pm SD. Das Geschlechterverhältnis war ausgeglichen mit 31 Mädchen (49,2%) und 32 Knaben (50,8%).

In Tabelle 3 sind die wichtigsten demographischen Daten und klinische Parameter zusammengefasst. Das Geburtsgewicht (3370 ± 437 g), das mittlere Gestationsalter in SSW ($40,05 \pm 1,31$), der Kopfumfang in cm ($34,9 \pm 0,08$), sowie auch der pH-Wert der Nabelschnurarterie ($7,28 \pm 0,08$) entsprechen der Norm von reifen gesunden NG. Auch die Apgar Werte nach 1 Minute ($8,9 \pm 0,53$) liegen im Normbereich und nach 5 Minuten erhielten alle Neugeborene aus diesem Kollektiv die höchste Punkteanzahl von 10.

	MW \pm SD
Geburtsgewicht (g)	3370 ± 437
SSW	$40 \pm 1,3$
Nabelschnur pH arteriell	$7,28 \pm 0,08$
Kopfumfang (cm)	$34,9 \pm 1,4$
Apgar nach 1 Minute	$9 \pm 0,5$
Apgar nach 5 Minuten	10 ± 0

Tabelle 3 Demographische und klinische Daten der NG

3.2 Qualitätskriterien

Nach Einführung der beiden Qualitätskriterien ab Minute 2 sind insgesamt 8 rSO₂brain Werte und 8 SaO₂ Werte ausgeschieden. Insgesamt konnten somit 873 rSO₂brain Werte (98,9%) inkludiert werden, und lediglich 8 Werte (0,9%) mussten

eliminiert werden. Die korrespondierenden SaO₂ Werte, nämlich 8 (0,9%) von 859 wurden ebenso eliminiert.

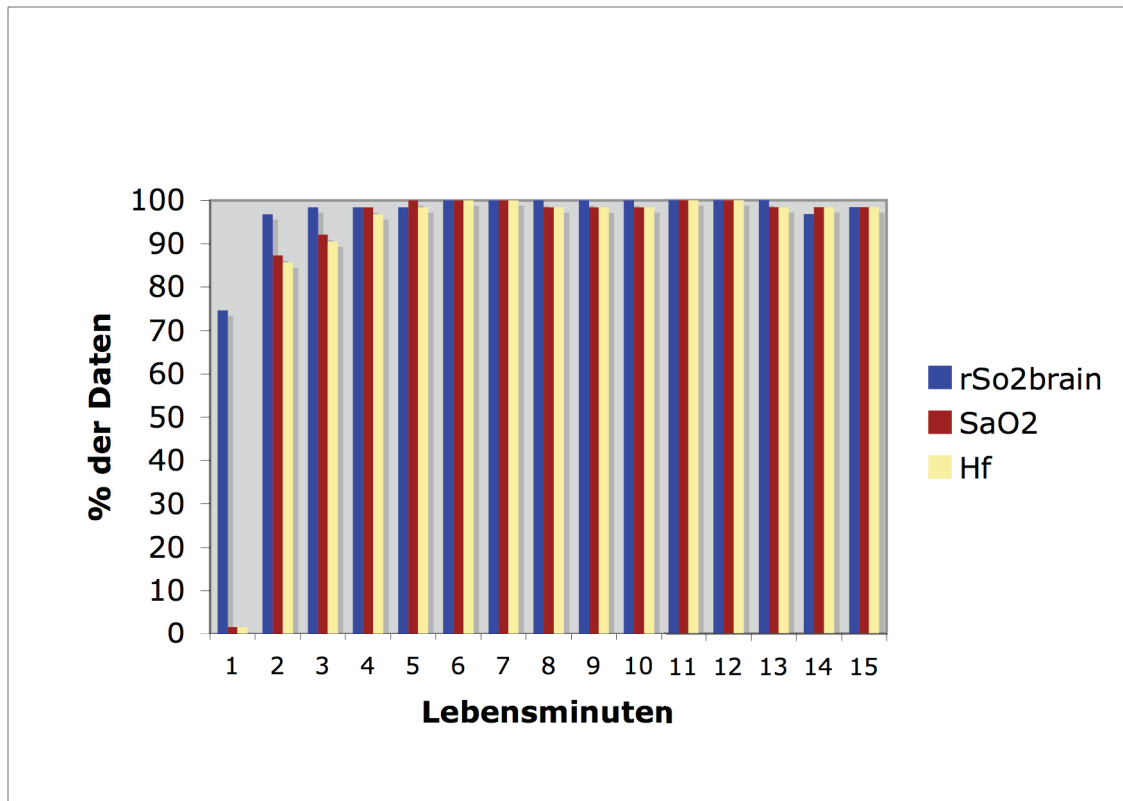


Abbildung 9 Vorhandensein der Daten zu den jeweiligen Lebensminuten

In Abbildung 9 wird das Verhältnis zwischen gemessenen Werten und theoretisch möglichen Werten (100%) zur jeweiligen Lebensminuten dargestellt.

Man erkennt, dass am Ende der 1. Lebensminute bei 75% der Kinder zwar schon die rSO₂brain Werte bekannt waren, jedoch nur bei 1,6% die SaO₂ bzw. die Hf. Am Ende der 2. Minute sind schon bei 85,7% der Kinder die drei Parameter bekannt. Zu diesem Zeitpunkt sind 96,8% der rSO₂brain Werte bekannt. Ab der vollendeten 4. Lebensminute bis zum Messende waren $\geq 96,8\%$ aller Messdaten verfügbar.

3.3 rSO₂brain, SaO₂, Hf, FTOE

In Tabelle 4 sind die MW und teilweise das KI (95%) von SaO₂, rSO₂brain, HR sowie die berechnete FTOE am Ende der jeweiligen Lebensminuten dargestellt.

Minute	rSO ₂ brain (%)	SaO ₂ (%)	Hf (min ⁻¹)	FTOE
2	39 (33-46)	72 (69-76)	146 (134-158)	0,47
3	49 (43-56)	78 (75-81)	157 (145-169)	0,38
4	61 (55-67)	85 (82-88)	160 (148-172)	0,30
5	69 (63-75)	89 (86-92)	160 (148-172)	0,24
6	73 (67-79)	92 (89-95)	157 (146-169)	0,21
7	75 (69-82)	94 (91-97)	155 (144-167)	0,19
8	77 (71-83)	95 (92-98)	153 (142-165)	0,18
9	78 (72-84)	95 (92-98)	152 (141-163)	0,18
10	77 (72-83)	95 (92-98)	152 (141-163)	0,19
11	77 (72-82)	95 (92-98)	151 (141-161)	0,19
12	77 (74-82)	95 (93-98)	149 (139-159)	0,19
13	76 (72-81)	96 (93-98)	148 (139-157)	0,20
14	76 (72-80)	96 (94-98)	148 (140-156)	0,21
15	75 (72-78)	97 (95-98)	149 (143-154)	0,22

Tabelle 4 Gemessene MW (rSO₂brain, SaO₂, Hf, FTOE) und KI (rSO₂brain, SaO₂, Hf) zu den jeweiligen Minuten (Alter des Kindes)

In dieser Tabelle kann der Anstieg der rSO₂brain beobachtet werden. Die rSO₂brain erfährt einen raschen Anstieg von 39% auf >73% nach der 6. Lebensminute. Im Vergleich dazu liegen die Ausgangswerte der SaO₂ am Ende der 2. Lebensminute bei 72% und erreicht nach der 8. Minute Werte >95%. Die Hf zeigte eine große Streubreite bei Min 2 von 134/min bis 158/min und einem MW von 146/min. Danach kann man signifikante Änderungen zwischen Minute 3 und 7 beobachten. Die FTOE sank von einem Ausgangswert in der 2. Minute von 0,47 drastisch auf 0,30 am Ende der 4. Minute. Danach erfuhr sie einen weiteren Abfall bis zur 12. Minute auf 0,19.

rSO₂brain

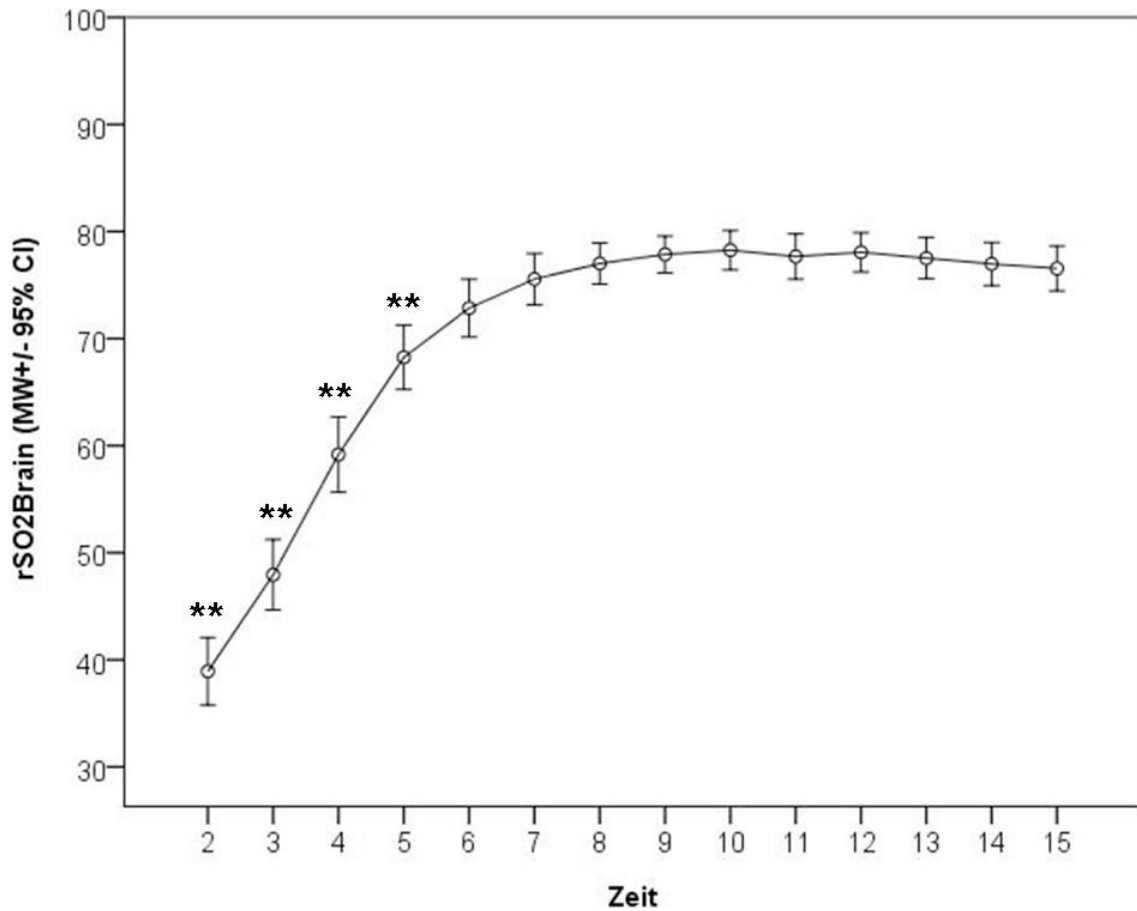


Abbildung 10 Verlauf der rSO₂brain von Min 2-15. **p<0,01 zum Endwert Min 15

In 75% der gemessenen NG war die Erhebung der rSO₂brain schon nach der ersten Lebensminute möglich. Diese betrug 29% (KI 22-35%). Ab der 2. Minute konnte der rSO₂brain Wert in 97% der NG erhoben werden und betrug 39% (KI 33-46%). Die rSO₂brain erfuhr in den nachfolgenden Minuten einen hochsignifikanten Anstieg auf 69% (63-75%) 5 Minuten nach der Geburt. Danach konnten keine signifikanten Veränderungen beobachtet werden.

rSO₂brain und SaO₂

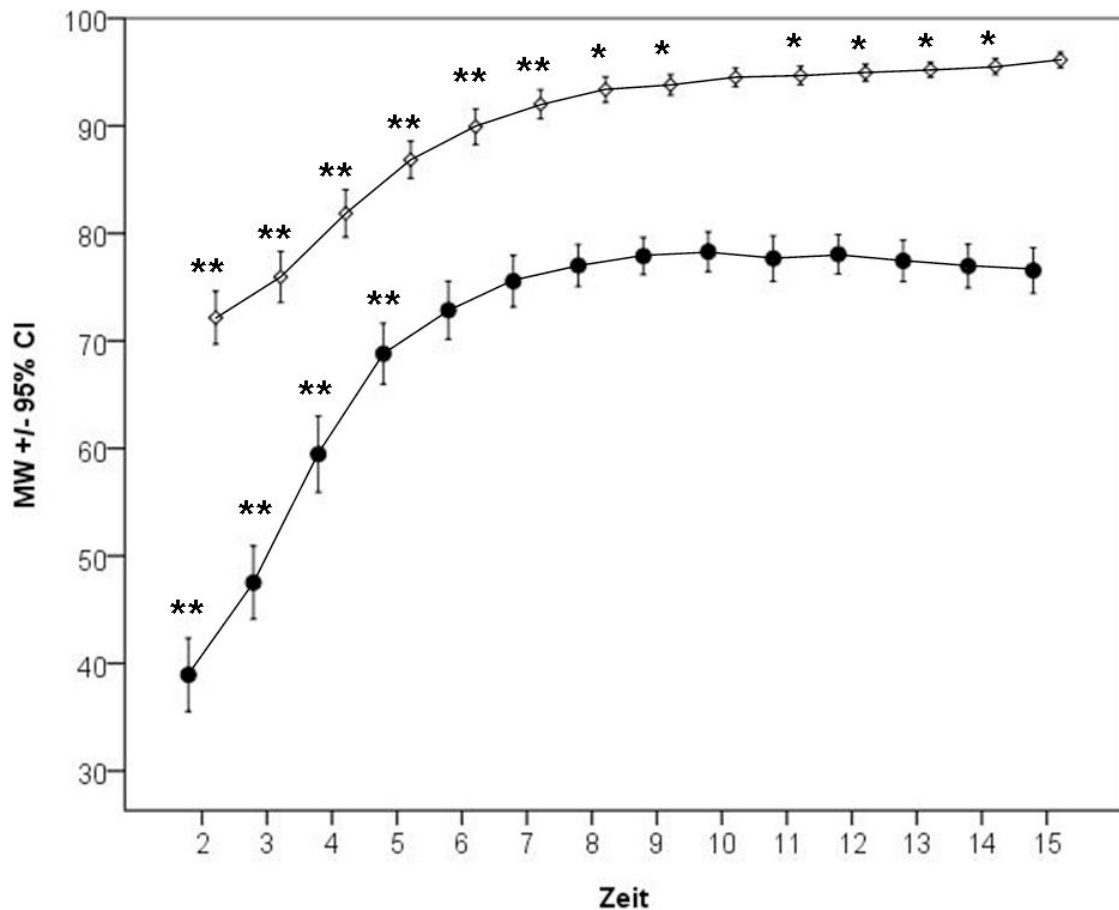


Abbildung 11 Verlaufsvergleich von SaO₂ und rSO₂brain von der Lebensminute 2-15, * p<0,05 und ** p<0,01 zum Endwert (15. Minute)

In dieser Abbildung werden die SaO₂ und die rSO₂brain zeitlich gegenübergestellt. Bezüglich der SaO₂ konnte ein signifikanter Anstieg von Minute 2 (72%) bis Minute 14 (96%) gezeigt werden, d.h. während des gesamten Messzeitraums stieg die SaO₂ an. Im Gegensatz dazu zeigte rSO₂brain hingegen nur von Minute 2 (39%) bis Minute 5 (69%) einen hoch signifikanten Anstieg.

FTOE

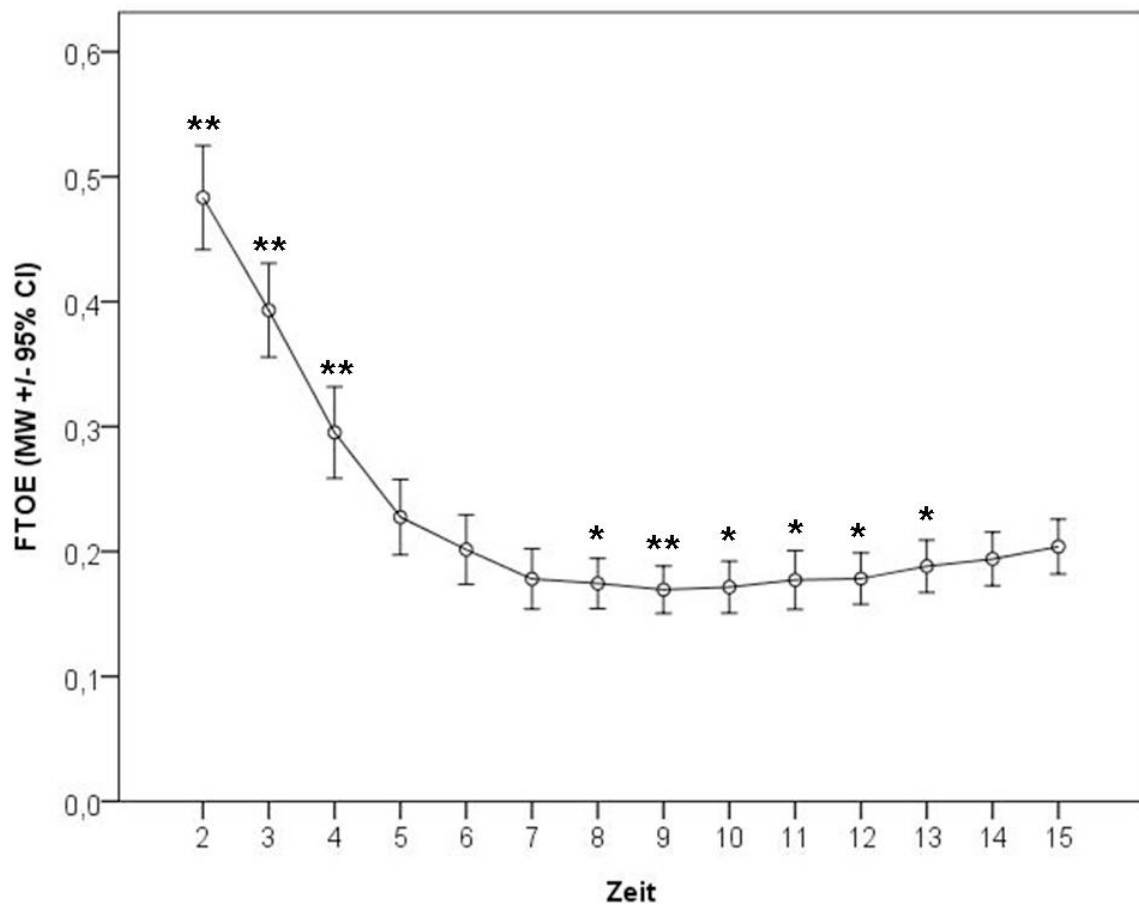


Abbildung 12 Veränderung der FTOE zwischen Lebensminuten 2-15, *p< 0,05 , **p<0,01 zum Endwert (Minute 15)

Die FTOE zeigte einen hochsignifikanten Abfall von 0,47 in Minute 2 auf 0,3 in Minute 4. In der 8. Minute konnte ein leichter aber signifikanter Anstieg bis zur Minute 13 beobachtet werden.

Hf

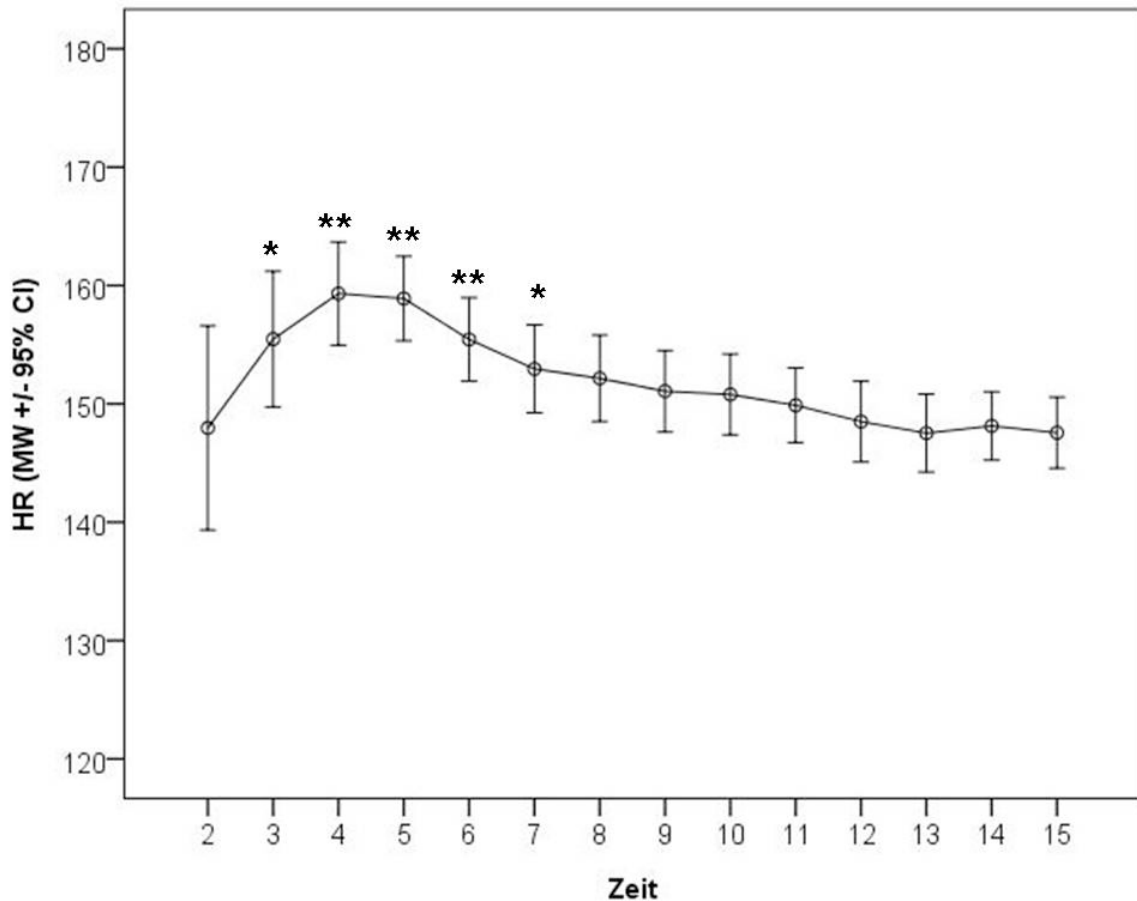


Abbildung 13 Verlauf der Hf (HR) in der Min 2-15, * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ zum Endwert (Min 15),

In der Minute 2 zeigte sich ein MW von 146/min mit einer großen Streubreite (KI 134-158/min). Danach wurde die Streubreite der Werte kleiner. In den ersten 5 Lebensminuten kommt es zu einer signifikanten Erhöhung der Hf auf 160/min. Danach fällt diese langsam und erreicht Werte um die 150/min.

3.4 Zusammenfassung:

Unsere Ergebnisse zeigten einen sehr raschen Anstieg der rSO_2 brain nach Spontangeburt. Obwohl die SaO_2 in den ersten 14 Minuten signifikant anstieg, zeigte die rSO_2 brain schon nach 5 Minuten keine Veränderung mehr. Die zerebrale FTOE fiel in den ersten 4 Minuten ab, danach erreichte sie Normalwerte. Die Hf zeigt eine signifikante kurzfristige Erhöhung in den ersten 5 Minuten.

4. Diskussion

Mit der vorliegenden Studie ist es erstmals gelungen, bei einer größeren Anzahl (n=63) von NG Veränderungen der zerebrale Oxygenierung sowie der SaO₂ unmittelbar nach Spontangeburt zu messen.

Die rSO₂brain zeigte einen signifikanten Anstieg innerhalb der ersten 5 Minuten nach der Geburt. Die rSO₂brain ist abhängig von dem lokalen Verhältnis zwischen O₂-Angebot und O₂-Verbrauch. Bei einem Anstieg der rSO₂brain ist es also schwierig zu sagen, ob dafür ein erhöhtes O₂-Angebot verantwortlich ist oder ein geringerer O₂-Verbrauch. Mehr Auskunft darüber gibt uns die Berechnung der FTOE wie später beschrieben.

Es stehen nur sehr wenige Arbeiten in der Literatur zum Vergleich unserer Ergebnisse zur Verfügung. Urlesberger et al.⁵⁵ beschreiben in einem ähnlich großen Kollektiv an NG einen signifikanten Anstieg der rSO₂brain bis zur 7. Minute nach elektivem Kaiserschnitt. Diese Studie ist sehr ähnlich aufgebaut und verwendet auch die gleichen NIRS Geräte, doch wurden zusätzlich noch prä- und postduktale Werte (rSO₂ und SaO₂) gemessen. Man kann also sagen, dass die rSO₂brain Werte in einem ähnlichen Bereich liegen, doch ist ein direkter Vergleich notwendig um eine Aussage bezüglich dem Einflussfaktor des Geburtsmodus zu postulieren. Fauchere et al.¹¹ untersuchten mit Hilfe einer anderen NIRS-Technik 20 NG nach Kaiserschnitt und konnten auch ein rSO₂brain Plateau nach 7 Minuten zeigen. Isobe et al.¹⁰ beschrieben in ihrer Studie die Messung von 7 NG nach Spontangeburt. In dieser Studie wurde aber wiederum eine andere Messart verwendet, sodass diese nur indirekt miteinander vergleichbar sind. Sie beschreiben ebenfalls einen Anstieg der zerebralen Gewebssättigung mit nachfolgendem Plateau 8,5 Minuten nach der Geburt.

Der Grund für die wenig vorhandenen Studien bei spontan geborenen Kindern ist am ehesten aus ethischen und organisatorischen Gründen gegeben. Um diese Messungen zu erhalten, muss die Intimsphäre einer Geburt zu einem gewissen Grad gestört werden. Es bedarf vieler organisatorischer, persönlicher und technischer Faktoren, um eine solche Studie durchzuführen zu können.

In den ersten Lebenstagen hingegen ist es vielen Forschungsgruppen gelungen, mehr über die zerebrale Gewebsoxygenierung vor allem bei Frühgeborenen zu erfahren^{9 42 45 49 51 52}.

In der Literatur kann man seit 1987 von House et al.¹ einige Studien zur SaO₂ unmittelbar nach der Geburt finden. In unserem Kollektiv erfährt die SaO₂ von Minute 2 (72%) bis zur Minute 14 (96%) einen signifikanten Anstieg. Diese Werte sind ähnlich und vergleichbar mit den bisherigen Daten in der Literatur. Kamlin et al.³ untersuchten 175 NG nach der Geburt und konnte bei 92 NG einen SaO₂ Wert schon am Ende der 1. Lebensminute von 63% (53-68%) ermesen. Im Mittel sind die SaO₂ Werte von 164 NG bei Minute 2 70% (58-78%). Anschließend wird ein allmählicher Anstieg beschrieben. Nach 5 Minuten war eine Sättigung von 90% (79-91%) zu beobachten. Unsere Ergebnisse decken sich weitgehend mit diesen veröffentlichten Daten.

Dawson et al.⁵⁶ verfasste eine Übersichtsarbeit über das pulsoxymetrische Monitoring von NG im Kreißsaal. Sie beschreiben, dass es bisher zu wenige Daten gibt um einen routinemäßigen Einsatz im Kreißsaal zu befürworten.

In diesem Jahr publizierte dieselbe Forschungsgruppe erstmalig einen Referenzbereich für SaO₂ Werte für die ersten zehn Minuten nach der Geburt⁵⁷. Sie untersuchten bei 468 NG die SaO₂ Werte (insgesamt 61.650 Werte) und erstellten die dazugehörigen Perzentilen. Dabei liegt nach 1 Minute die SaO₂ bei 29%, 66% und 92 % (3., 50. und 95. Perzentile). Weiters beschreiben sie, dass es im Median 7,9 Minuten braucht, bis die NG eine SaO₂ von >90% erreichen. Die Ergebnisse beinhalten auch Perzentilen für Frühgeborene, wobei die SaO₂ signifikant langsamer ansteigt als die der reifen NG.

Kamlin et al.³ und Rabi et al.⁴ konnten einen signifikanten Unterschied zwischen spontan geborenen NG im Vergleich zu NG nach Kaiserschnitt feststellen. In beiden Gruppen hatten Kinder nach Kaiserschnitt signifikant niedrigere SaO₂ Werte als spontan geborene Kinder. Dawson et al.⁵⁶ konnten mit ihren Ergebnissen auch signifikante Unterschiede in den ersten 5 Minuten zwischen diesen zwei Gruppen bestätigen. Lediglich Isobe et al.¹⁰ konnten diese Ergebnisse in ihrer Studie nicht bestätigen (inkludiert wurden 26 NG).

Die Hf zeigte in der vorliegenden Studie einen signifikanten Anstieg innerhalb der ersten 5 Minuten von 146 (Minute 2) auf 160 Schläge pro Minute. Darauf folgte ein langsamer Abfall auf 149 Schläge pro Minute in der 15. Minute. Dawson et al.⁵⁸ untersuchte bei 468 NG die Veränderungen der Hf unmittelbar nach der Geburt. Eine Minute nach der Geburt betrug die Hf im Mittel 96 (65-127/min) Schläge pro

Minuten und stieg dann auf 139/min (110-166/min) nach zwei Minuten und auf 163/min (146-175/min) nach 5 Minuten an. Es wird auch ein langsamerer Herzfrequenzanstieg bei NG nach Kaiserschnitt im Vergleich zu spontan geborenen NG beschrieben. Somit liegen unsere Ergebnisse in einem sehr ähnlichen Bereich wie von Dawson et al beschrieben.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass das Gehirn sehr rasch mit O₂ versorgt wird, obwohl die SaO₂ noch lange ansteigt. Dies lässt vermuten, dass das Gehirn in der Versorgung mit O₂ bevorzugt wird. Urlesberger et al.⁵⁵ kamen zu einem ähnlichen Ergebnis. Sie konnten zeigen, dass das Gehirn nach 7 Minuten keine Veränderung in der rSO₂brain zeigte, jedoch die Oxygenierung im Muskelgewebe (prä- und postduktal) bis zur Minute 9 steigt. Somit ist gezeigt worden, dass die Sättigung in der Peripherie langsamer ansteigt als im Gehirn.

Bezüglich der FTOE wurden im untersuchten Kollektiv in den ersten 4 Minuten sehr hohe Werte erreicht, die in den darauf folgenden drei Minuten Normalwerte erreichte. Ab der Minute 8 konnte ein neuerlicher Anstieg beobachtet werden. Eine hohe FTOE zu Beginn ist vermutlich auf das geringe O₂-Angebot im arteriellen Blut des fetalen Kreislaufs zurückzuführen. Die arterielle Sättigung zum Zeitpunkt der Geburt liegt nur bei etwa 60%⁶, sodass das Gehirn anfangs fast die Hälfte (FTOE 0,47 entspricht 47%) des anströmenden O₂ im Blut extrahiert. Nach wenigen Minuten steigt das O₂-Angebot im arteriellen Blut, sodass prozentuell weniger O₂ extrahiert werden muss um die ausreichende Versorgung zu gewährleisten. Nach einigen 5 Minuten entsprach die O₂-Extraktion etwa einem Normalwert (um 20-30%).

Dass die O₂-Extraktion im Gewebe allerdings nach 8 Minuten wieder zunimmt war eine unerwartete Beobachtung. Dies könnte mehrere Ursachen haben. Einer der Haupteinflussfaktoren für die Perfusion (Durchblutung) des Gewebes stellt die Hf dar. Allerdings konnte man in der hier vorliegenden Studie keine signifikanten Veränderung nach der 8. Minute feststellen. Vielleicht kommen hierbei aber auch die signifikanten Veränderung der SaO₂ während der gesamten Messdauer zutrage. Eine andere mögliche Ursache könnte die motorische und sensorische Orientierung in dieser Zeit sein. NG beginnen sich vielleicht in dieser Zeit mehr zu

bewegen und das könnte die Ursache für einen höheren O₂-Bedarf und somit einer höheren O₂-Extraktion im Gehirn sein.

Die Interpretation und die Vergleichbarkeit verschiedener Geräte bei der Messung der regionalen Sättigung muss mit Vorsicht geschehen⁵⁹. Die zurzeit entwickelten Technologien weisen eine schlechte Präzision auf⁶⁰. Van Bel et al⁴¹ verfassten eine Arbeit über den Wert und die Mängel des Monitorings von der regionalen zerebralen Gewebsoxygenierung bei NG. Aufgrund der großen intra- und interpersonellen Variabilität kann diese Technik nicht als robuste quantitative Messung der zerebralen Oxygenierung herangezogen werden. Verwendet man diese Technik jedoch bloß als Trendmonitoring des individuellen Patienten, könnte dies hilfreiche klinische Informationen bringen⁴¹. Auch der Vergleich verschiedener Studien, die rSO₂brain Werte erheben, ist aufgrund der verschiedenen Technologien, die verwendet werden, sehr schwierig⁶¹.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass hier erstmals Werte für die regionale Sauerstoff-Sättigung des Gehirnes unmittelbar nach Spontangeburt vorliegen. Es ist wichtig darauf hinzuweisen, dass die gemessene Population von 63 Kindern statistisch aussagekräftig ist, doch müsste ein noch viel größeres Kollektiv untersucht werden um Normwerte zu beschreiben.

Anhang – Elterninformation und Einwilligungserklärung

Elterninformation und Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der klinischen Prüfung

Sauerstoffsättigung des Gehirns nach der Geburt bei reifen Neugeborenen.

Sehr geehrte werdende Mutter, sehr geehrter werdender Vater!

Wir laden Sie ein, dass ihr Neugeborenes an der oben genannten klinischen Prüfung teilnimmt. Die Aufklärung darüber erfolgt in einem ausführlichen ärztlichen Gespräch.

Die Teilnahme Ihres neugeborenen Kindes an dieser klinischen Prüfung erfolgt freiwillig. Sie können jederzeit ohne Angabe von Gründen aus der Studie ausscheiden. Die Ablehnung der Teilnahme oder ein vorzeitiges Ausscheiden aus dieser Studie hat keine nachteiligen Folgen für Ihre medizinische Betreuung und die medizinische Betreuung Ihres Neugeborenen.

Klinische Prüfungen sind notwendig, um verlässliche neue medizinische Forschungsergebnisse zu gewinnen. Unverzichtbare Voraussetzung für die Durchführung einer klinischen Prüfung ist jedoch, dass Sie Ihr Einverständnis zur Teilnahme an dieser klinischen Prüfung schriftlich erklären. Bitte lesen Sie den folgenden Text als Ergänzung zum Informationsgespräch mit Ihrem Arzt sorgfältig durch und zögern Sie nicht Fragen zu stellen.

Bitte unterschreiben Sie die Einwilligungserklärung nur

wenn Sie Art und Ablauf der klinischen Prüfung vollständig verstanden haben,

wenn Sie bereit sind, der Teilnahme Ihres Neugeborenen zuzustimmen und

wenn Sie sich über die Rechte als Teilnehmer an dieser klinischen Prüfung im Klaren sind.

Zu dieser klinischen Prüfung, sowie zur Elterninformation und Einwilligungserklärung wurde von der zuständigen Ethikkommission eine befürwortende Stellungnahme abgegeben.

1. Was ist der Zweck der klinischen Prüfung?

Der Zweck dieser klinischen Prüfung ist die Sauerstoffsättigung des Gehirns (ein Maß für die Versorgung des Gehirns mit Sauerstoff) bei reifen Neugeborenen unmittelbar nach der Geburt zu messen, um die normale Sauerstoffsättigung des Gehirns während der Anpassungsvorgänge nach der Geburt festzustellen. Zusätzlich soll auch die arterielle Sauerstoffsättigung (die Sauerstoffmenge im Blut) und die Herzfrequenz registriert werden.

Die Messungen werden mit der so genannten Nah-Infrarot Spektroskopie (einem Infrarot-Licht) nicht-invasiv (ohne die Haut zu verletzen) durchgeführt; das heißt die Messungen erfolgen mit Sensoren, die auf der Haut aufgeklebt werden. Die arterielle Sauerstoffsättigung und die Herzfrequenz werden ebenfalls mit Licht über einen Sensor an der Hand gemessen.

Die Untersuchung wird bei Ihrem Neugeborenen durchgeführt, wenn es durch eine unkomplizierte Spontangeburt auf die Welt kam. Ihr Kind wird nicht von Ihnen getrennt, die Messungen finden direkt im Geburtszimmer im Kreissaal statt. Ihr Neugeborenes hat keine weiteren Belastungen neben der durchgeführten nicht-invasiven Überwachungen von arterieller Sauerstoffsättigung und der Herzfrequenz zu erwarten. Die Messung der Sauerstoffsättigung des Gehirns ist für die Dauer der ersten 15 Lebensminuten geplant. Nebenwirkungen sind keine zu erwarten.

2. Welche anderen Messmöglichkeiten gibt es?

Zur Messung der Sauerstoffsättigung des Gehirns stellt die Nah-Infrarot Spektroskopie die einzige Möglichkeit dar.

3. Wie läuft die klinische Prüfung ab?

Diese klinische Prüfung wird direkt im Kreissaalzimmer unmittelbar nach der Geburt durchgeführt, Ihr Kind wird nicht von Ihnen getrennt, es werden insgesamt ungefähr 70 Neugeborene daran teilnehmen.

Vor Aufnahme in diese klinische Prüfung werden wichtige Daten Ihrer Schwangerschaft und Ihres Neugeborene erhoben.

Die Teilnahme an dieser klinischen Prüfung wird voraussichtlich *15 Minuten* dauern.

Folgende Maßnahmen werden ausschließlich aus Studiengründen durchgeführt:

Während dieser klinischen Prüfung wird für insgesamt etwa 15 Minuten ein Nah-Infrarot Sensor am Kopf sowie ein Sensor zur Erfassung der arteriellen Sauerstoffsättigung und der Herzfrequenz an der rechten Hand angebracht.

4. Was ist Nah-Infrarot Spektroskopie

Nah-Infrarot Spektroskopie (Invos Monitor) ist ein Medizinprodukt, dass bereits weit reichend bei Neugeborenen angewandt wurde, und eine nicht-invasive Messung der Sauerstoffsättigung des Gewebes ermöglicht. Nebenwirkungen wurden bisher keine beschrieben.

5. Worin liegt der Nutzen einer Teilnahme an der Klinischen Prüfung?

Es ist nicht zu erwarten, dass Ihr Neugeborenes aus der Teilnahme an dieser klinischen Prüfung gesundheitlichen Nutzen ziehen wird.

Die Ergebnisse dieser klinischen Prüfung sollen aber dazu beitragen, die Anpassung des Neugeborenen nach der Geburt besser zu erfassen, um später in weiteren Studien eventuelle Auffälligkeiten zu erkennen, die einer Behandlung bedürfen.

6. Gibt es Risiken, Beschwerden und Begleiterscheinungen?

Es sind keine Risiken, Beschwerden und Begleiterscheinungen zu erwarten

7. Wann wird die klinische Prüfung vorzeitig beendet?

Sie können jederzeit auch ohne Angabe von Gründen, die Teilnahme Ihres Neugeborenen widerrufen und aus der klinischen Prüfung ausscheiden ohne dass Ihnen dadurch irgendwelche Nachteile für die weitere medizinische Betreuung entstehen.

Ihr Prüfarzt wird Sie über alle neuen Erkenntnisse, die in Bezug auf diese klinische Prüfung bekannt werden, und für Sie oder Ihr Neugeborenes wesentlich werden könnten, umgehend informieren. Auf dieser Basis können Sie dann Ihre Entscheidung zur weiteren Teilnahme an dieser klinischen Prüfung neu überdenken.

Es ist aber auch möglich, dass Ihr Prüfarzt entscheidet, die Teilnahme Ihres Neugeborenen an der klinischen Prüfung vorzeitig zu beenden, ohne vorher Ihr Einverständnis einzuholen. Der Grund hierfür kann sein, dass das Neugeborene zu unruhig ist.

8. In welcher Weise werden die im Rahmen dieser klinischen Prüfung gesammelten Daten verwendet?

Sofern gesetzlich nicht etwas anderes vorgesehen ist, haben nur die Prüfer/innen und deren Mitarbeiter/innen Zugang zu den vertraulichen Daten, in denen Sie oder Ihr Neugeborenes namentlich genannt werden („personenbezogene“ Daten). Weiters können Beauftragte der Gesundheitsbehörden und der zuständigen Ethikkommission Einsicht in diese Daten nehmen, um die Richtigkeit der Aufzeichnungen zu überprüfen. Diese Personen unterliegen einer gesetzlichen Verschwiegenheitspflicht.

Die Weitergabe der Daten im In- und Ausland erfolgt ausschließlich zu statistischen Zwecken in verschlüsselter (nur „indirekt personenbezogener“) oder anonymisierter Form, das heißt, Sie und ihr Neugeborenes werden nicht namentlich genannt. Auch in etwaigen Veröffentlichungen der Daten dieser klinischen Prüfung werden Sie und ihr Neugeborenes nicht namentlich genannt.

Die Prüfer/innen und ihre Mitarbeiter/innen unterliegen im Umgang mit den Daten den Bestimmungen des österreichischen Datenschutzgesetzes 2000 in der jeweils geltenden Fassung.

Wenn Sie Ihre Einwilligung zurückziehen und damit die Teilnahme vorzeitig beenden, werden keine neuen Daten mehr über Sie oder ihr Neugeborenes erhoben.

9. Entstehen für die Teilnehmer Kosten? Gibt es einen Kostenersatz oder eine Vergütung?

Nein

10. Möglichkeit zur Diskussion weiterer Fragen

Für weitere Fragen im Zusammenhang mit dieser klinischen Prüfung stehen Ihnen Ihr Prüfarzt und seine Mitarbeiter gern zur Verfügung. Auch Fragen, die die Rechte als Patient/Eltern und Teilnehmer an dieser klinischen Prüfung betreffen, werden Ihnen gerne beantwortet.

Name der Kontaktperson: Dr. Thomas Rehak.....

Ständig erreichbar unter: 031638583783.....

Name der Kontaktperson: Univ. Prof. Dr. Berndt Urlesberger.....

Ständig erreichbar unter: 0316 385 81133.....

11. Einwilligungserklärung

Name des Patienten in Druckbuchstaben:.....

Geb.Datum: Code:.....

Ich erkläre mich bereit, dass mein Neugeborenes an der klinischen Prüfung „Postpartale zerebrale Oxygenierung bei reifen Neugeborenen“ teilnimmt.

Ich bin von Herrn/Frau (*Dr.med.*) ausführlich und verständlich über die Nah-Infrarot Spektroskopie, mögliche Belastungen und Risiken, sowie über Wesen, Bedeutung und Tragweite der klinischen Prüfung, sowie die sich für mein Neugeborenes daraus ergebenden Anforderungen aufgeklärt worden. Ich habe darüber hinaus den Text dieser Elterninformation und Einwilligungserklärung, die insgesamt 5 Seiten umfasst gelesen. Aufgetretene Fragen wurden mir vom Prüfarzt verständlich und genügend beantwortet. Ich hatte ausreichend Zeit, mich zu entscheiden. Ich habe zurzeit keine weiteren Fragen mehr.

Ich werde den ärztlichen Anordnungen, die für die Durchführung der klinischen Prüfung erforderlich sind, Folge leisten, behalte mir jedoch das Recht vor, die freiwillige Mitwirkung meines Neugeborenen jederzeit zu beenden, ohne dass uns daraus Nachteile für unsere weitere medizinische Betreuung entstehen.

Ich bin zugleich damit einverstanden, dass die im Rahmen dieser klinischen Prüfung ermittelten Daten gespeichert werden. Mir ist bekannt, dass zur Überprüfung der Richtigkeit der Datenaufzeichnung Beauftragte der zuständigen Behörden, der Ethikkommission und ggf. des Auftraggebers beim Prüfarzt Einblick in unsere personenbezogenen Krankheitsdaten nehmen dürfen.

Beim Umgang mit den Daten werden die Bestimmungen des Datenschutzgesetzes 2000 beachtet.

Eine Kopie dieser Elterninformation und Einwilligungserklärung habe ich erhalten. Das Original verbleibt beim Prüfarzt.

.....

(Datum und Unterschrift der Eltern)

.....

(Datum, Name und Unterschrift des verantwortlichen Arztes)

(Die Eltern erhalten eine unterschriebene Kopie der Elterninformation und Einwilligungserklärung, das Original verbleibt im Studienordner des Prüfarztes.)

Anhang – Protokollblatt

Patientendatenblatt

Identitätsnummer:

Untersuchungsdatum:

Schwangerschaft (Besonderheiten):

Geburt (Apgar, NapH):

Gestationsalter:

Geschlecht (m/w):

Geburtsgewicht(g):

Länge(cm):

Kopfumfang(cm):

Messungen Pulsoxymetrie:

Alter in Min:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SaO2%															
HF															

1. Invos-Signal (Lebenssekunden):

1. Pulsoxymetrie-Signal (Lebenssekunden):

Literaturverzeichnis

- ¹ House JT, Schultetus RR, Gravenstein N. Continuous neonatal evaluation in the delivery room by pulse oximetry. *J Clin Monit* 1987;3;96-100.
- ² Toth B, Becker A, Seelbach-Gobel B. Oxygen saturation in healthy newborn infants immediately after birth measured by pulse oximetry. *Arch Gynecol Obstet*. 2002 Apr;266(2):105-7.
- ³ Kamlin CO, O'Donnell CP, Davis PG, Morley CJ. Oxygen saturation in healthy infants immediately after birth. *J Pediatr* (2006) vol. 148 (5) pp. 585-9.
- ⁴ Rabi Y, Yee W, Chen SY, Singhal N. Oxygen saturation trends immediately after birth. *J Pediatr* (2006) vol. 148 (5) pp. 590-4.
- ⁵ Finer N, Leone T. Oxygen saturation monitoring for the preterm infant: the evidence basis for current practice. *Pediatr Res* (2009) vol. 65 (4) pp. 375-80.
- ⁶ Dawson JA, Davis PG, O'Donnell CP, Kamlin CO. Pulse oximetry for monitoring infants in the delivery room: a review. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* (2007) vol. 92 (1) pp. F4-7.
- ⁷ Mariani G, Dik PB, Ezquer A, Aguirre A, Esteban ML, Perez C, Fernandez Jonusas S, Fustiñana C. Pre-ductal and post-ductal O₂ saturation in healthy term neonates after birth. *J Pediatr*. 2007 Apr;150(4):418-21.
- ⁸ Jöbsis FF. Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. *Science* 1977 Dec 23;198(4323):1264-7.
- ⁹ Sorensen LC, Greisen G. The brains of very preterm newborns in clinically stable condition may be hyperoxygenated. *Pediatrics*. 2009 Nov;124(5):e958-63. Epub 2009 Oct 19.
- ¹⁰ Isobe K, Kusaka T, Fujikawa Y, Okubo K, Nagano K, Yasuda S, Kondo M, Itoh S, Hirao K, Onishi S. Measurement of cerebral oxygenation in neonates after vaginal delivery and cesarean section using full-spectrum near infrared spectroscopy. *Comp Biochem Physiol, Part A Mol Integr Physiol* (2002) vol. 132 (1) pp. 133-8.
- ¹¹ Fauchère JC, Schulz G, Haense D, Keller E, Ersch J, Bucher HU, Wolf M. Near-infrared spectroscopy measurements of cerebral oxygenation in newborns during immediate postnatal adaptation. *J Pediatr* (2010) vol. 156 (3) pp. 372-6.
- ¹² Bloom RS. Delivery Room Resuscitation, In: Boron WF, Boulpaep EL editors. *Neonatal-perinatal medicine, St.Louis, Mosby, 1997*⁶, S. 376-402.

-
- ¹³ Pocock G, Richards CD. Fetal and neonatal physiology. In: Pocock G, Richards CD, editors. *Human Physiology: The Basis of Medicine*, New York, 2006³, S. 376-402.
- ¹⁴ Silbernagl S, Despopoulos A. *Taschenatlas der Physiologie*. Stuttgart, Georg Thieme Verlag, 2003⁶, S.221.
- ¹⁵ Jones EE, DeCherney AH. Fetal and Neonatal Physiology. In: Boron WF, Boulpaep EI, editor. *Medical Physiology*. Philadelphia, Elsevier Saunders, 2005, S. 1190-208.
- ¹⁶ Guyton AC, Hall JE. Fetal and Neonatal Physiology. In: *Textbook of Medical Physiology*. Philadelphia, Elsevier Saunders, 2006¹¹, S 1042-52.
- ¹⁷ Deutsch J, Schnekenburger FG. *Pädiatrie und Kinderchirurgie*. Stuttgart/New York, Georg Thieme Verlag, 2009, S 129.
- ¹⁸ Gungor S, Kurt E, Teksoz E, Goktolga U, Ceyhan T, Baser I. Oronasopharyngeal suction versus no suction in normal and term infants delivered by elective cesarean section: a prospective randomized controlled trial. *Gynecol Obstet Invest* (2006) vol. 61 (1) pp. 9-14
- ¹⁹ Carrasco M, Martell M, Estol PC. Oronasopharyngeal suction at birth: effects on arterial oxygen saturation. *J Pediatr* (1997) vol. 130 (5) pp. 832-4
- ²⁰ Gungor S, Teksoz E, Ceyhan T, Kurt E, Goktolga U, Baser I. Oronasopharyngeal suction versus no suction in normal, term and vaginally born infants: a prospective randomised controlled trial. *Aust N Z J Obstet Gynaecol* (2005) vol. 45 (5) pp. 453-6
- ²¹ Apgar V. A proposal for a new method of evaluation of the newborn infant. *Curr Res Anesth Analg*. 1953 Jul-Aug;32(4):206-7.
- ²² URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Apgar-Score>. (22.7.2010).
- ²³ Bharti B, Bharti S. A review of the Apgar score indicated that contextualization was required within the contemporary perinatal and neonatal care framework in different settings. *J Clin Epidemiol* (2005) vol. 58 (2) pp. 121-9.
- ²⁴ AAP Committee on Fetus and Newborn, ACOG Committee on Obstetric Practice. The Apgar Score. *Pediatrics*. 2006 Apr;117(4):1444-7.
- ²⁵ Fields Lm, Enman SS, Boehm FH. Correlation of the one-minute Apgar score and the pH value of umbilical arterial blood. *South Med J* (1983) vol. 76 (12) pp. 1477-9.

-
- ²⁶ Kurz R, Roos R: Checkliste Pädiatrie. 2nd ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2000. p.171-75.
- ²⁷ Owen Reece H, Smith M, Elwell CE, Goldstone JC. Near infrared spectroscopy. *Br J Anaesth* 1999;82:418-426.
- ²⁸ Nicklin SE, Hassan IA, Wickramasinghe YA, Spencer SA. The light still shines, but not that brightly? The current status of perinatal near infrared spectroscopy. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2003;88(4):F263-F268.
- ²⁹ Hamaoka T, McCully KK, Quaresima V, Yamamoto K, Chance B. Near-infrared spectroscopy/imaging for monitoring muscle oxygenation and oxidative metabolism in healthy and diseased humans. *J Biomed Opt* 2007 Nov-Dec;12(6):062105.
- ³⁰ Wolf M, Ferrari M, Quaresima V. Progress of near-infrared spectroscopy and topography for brain and muscle clinical applications. *J Biomed Opt* 2007 Nov-Dec;12(6):062104.
- ³¹ Ward KR, Ivatury RR, Barbee RW, Turner J, Pittman R, Filho IP, Spiess B. Near infrared spectroscopy for evaluation of the trauma patient: a technology review. *Resuscitation* 2006 Jan;68(1):27-44.
- ³² Boushel R, Langberg H, Olesen J, Gonzales-Alonzo J, Bülow J, Kjaer M. Monitoring tissue oxygen availability with near infrared spectroscopy (NIRS) in health and disease. *Scand J Med Sci Sports* 2001 Aug;11(4):213-22.
- ³³ Wolfberg AJ, du Plessis AJ. Near-infrared Spectroscopy in the fetus and neonate. *Clin Perinatol* 2006 Sep;33(3):707-28.
- ³⁴ Smielewski P, Kirkpatrick PJ. Resolving the extra- and intra- cranial near infrared spectroscopy signals from the adult head. In: Lischer G, Schwarz G editors. *Transcranial cerebral oximetry*. Lengerich, Germany: Pabst; 1997. P.199-217.
- ³⁵ van der Zee P, Cope M, Arridge SR, Essenpreis M, Potter LA, Edwards AD, et al. Experimentally measured optical pathlengths for the adult head, calf and forearm and the head of the newborn infant as a function of inter optode spacing. *Adv Exp Med Biol* 1992;316:143-53.
- ³⁶ Edwards Ad, Richardson C, van der Zee P, Elwell C, Wyatt JS, Cope M, Delpy DT, Reynolds EO. Measurement of hemoglobin flow and blood flow by near-infrared spectroscopy. *J Appl Physiol* (1993) vol. 75 (4) pp. 1884-9.

-
- ³⁷ Greisen G. Is near-infrared spectroscopy living up to its promises? *Semin Fetal Neonatal Med* 2006 Dec;11(6):498-502.
- ³⁸ Duncan A, Meek JH, Clemence M, Elwell CE, Fallon P, Tyszczuk L, Cope M, Delpy DT. Measurement of cranial optical path length as a function of age using phase resolved near infrared spectroscopy. *Pediatr Res* 1996 May;39(5):889-94.
- ³⁹ Tax N. Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit von Nahinfrarot-Spektroskopie Messungen der zerebralen Oxygenierung bei reifen Neugeborenen und Frühgeborenen. Medizinische Universität Graz, Diplomarbeit, 2009, p 4.
- ⁴⁰ Suzuki S, Takasaki S, Ozaki T, Kobayashi Y. A tissue oxygenation monitor using NIR spatially resolved spectroscopy. *Proceedings of the International Society for Optical Engineering* 1999;3597:582-92.
- ⁴¹ van Bel F, Lemmers P, Naulaers G. Monitoring neonatal regional cerebral oxygen saturation in clinical practice: value and pitfalls. *Neonatology* (2008) vol. 94 (4) pp. 237-44.
- ⁴² von Siebenthal K, Bernert G, Casaer P. Near-infrared spectroscopy in newborn infants. *Brain Dev.* 1992;14:135-43.
- ⁴³ Brazy JE, Lewis DV. Changes in cerebral blood volume and cytochrome aa3 during hypertensive peaks in preterm infants. *J Pediatr* (1986) vol. 108 (6) pp. 983-7.
- ⁴⁴ Greeley WJ, Bracey VA, Ungerleider RM, et al. Recovery of cerebral metabolism and mitochondrial oxidation state is delayed after hypothermic circulatory arrest. *Circulation.* 1992;84(5Suppl):III-400-406).
- ⁴⁵ Van Bel F, Dorrepaal CA, Benders MJ, Zeeuwe PE, van de Bor M, Berger HM. Changes in cerebral hemodynamics and oxygenation in the first 24 hours after birth asphyxia. *Pediatrics* 1993 Sep;92(3):365-72.
- ⁴⁶ Mitsuta H, Ohdan H, Fudaba Y, et al. Near-infrared spectroscopy analysis of hemodynamic and mitochondrial redox in right lobe grafts in living-donor liver transplantation. *AM J Transplant.* 2006;6:797-805.
- ⁴⁷ Fortune PM, Wagstaff M, Petros AJ. Cerebro-splanchnic oxygenation ratio (CSOR) using near infrared spectroscopy may be able to predict splanchnic ischaemia in neonates. *Intensive care Med.* 2001;27:1401-1407.
- ⁴⁸ Tobias JD, Hoernschemeyer DG. Near-Infrared spectroscopy identifies compartment syndrome in an infant. *J Pediatr orthop.* 2007; 27:311-313.

-
- ⁴⁹ Verhagen EA, ter Horst HJ Keating P, Bos AF. The course of cerebral oxygen saturation and oxygen extraction during the first two weeks of life in pre term infants. (Abstract Acta Paediatrica 2007;96 (Suppl.456):140.
- ⁵⁰ Grossauer K, Pichler G, Schmörlzer G, Zotter H, Mueller W, Urlesberger B Comparison of peripheral and cerebral tissue oxygenation index in neonates. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed (2009) vol. 94 (2) pp. F156.
- ⁵¹ Naulaers G, Morren G, Van Huffel S, Casaer P, Devlieger H. Cerebral tissue oxygenation index in very premature infants. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed (2002) vol. 87 (3) pp. F189-92.
- ⁵² Naulaers G, Morren G, Van Huffel S, Casaer P, Devlieger H. Measurement of tissue oxygenation index during the first three days in premature born infants. Adv Exp Med Biol (2003) vol. 510 pp. 379-83.
- ⁵³ van den Berg E, Lemmers PMA, Toet MC, Klaessens JHG, van Bel F. Effect of the "InSurE" procedure on cerebral oxygenation and electrical brain activity of the preterm infant. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed (2010) vol. 95 (1) pp. F53-8.
- ⁵⁴ Dullenkopf A, Frey B, Baenzinger O, Gerber A, Weiss M. Measurement of cerebral oxygenation state in anaesthetized children using the INVOS 5100 cerebral oximeter. Paediatr Anaesth 2003 Jun;13(5):384-91.
- ⁵⁵ Urlesberger B, Grossauer K, Pocivalnik M, Avian A, Müller W, Pichler G. Regional oxygen saturation of the brain and peripheral tissue during birth transition of term infants. J Pediatr (2010) vol. 157 (5) pp. 740-4
- ⁵⁶ Dawson JA, Davis PG, O'Donnell PF, Kamlin COF, Morley CJ. Pulse oximetry for monitoring infants in the delivery room: a review. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed (2007) vol. 92 (1) pp. F4-7.
- ⁵⁷ Dawson JA, Kamlin COF, Vento M, Wong C, Cole TJ, Donath SM, Davis PG, Morley CJ. Defining the Reference Range for Oxygen Saturation for Infants After Birth. PEDIATRICS (2010) vol. 125 (6) pp. e1340-e1347
- ⁵⁸ Dawson JA, Kamlin COF, Wong C, te Pas AB, Vento M, Cole TJ, Donath SM, Hooper SB, Davis PG, Morley CJ. Changes in heart rate in the first minutes after birth. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed (2010) vol. 95 (3) pp. F177-81.
- ⁵⁹ Ferrari M, Mottola L, Quaresima V. Principles, techniques, and limitations of near infrared spectroscopy. Can J Appl Physiol 2004 Aug;29(4):463-87.

⁶⁰ Sorensen LC, Greisen G. Precision of measurement of cerebral tissue oxygenation index using near-infrared spectroscopy in preterm neonates. *J Biomed Opt* (2006) vol. 11 (5) pp. 054005.

⁶¹ Gagnon RE, Macnab AJ, Gagnon FA, Blackstock D, JeBlanc JG. Comparison of two spatially resolved NIRS oxygenation indices. *J Clin Monit Comput* (2002) vol. 17 (7-8) pp. 385-91.