

Klinik für Anästhesiologie
Technische Universität München
Klinikum rechts der Isar
(Direktor: Univ.-Prof. Dr. E. Kochs)

Simulatorbasierte Pilotstudie
zur Erfassung der Arbeitsbelastung von Anästhesisten mittels
Blickbewegungsregistrierung, Herzfrequenzmessung und
subjektiver Einschätzung auf der Borg-Skala

Lukas Fritz

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Medizin genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. E. J. Rummeny
Prüfer der Dissertation:
1. Univ.-Prof. Dr. G. E. Schneider
2. Univ.-Prof. E. Kochs

Die Dissertation wurde am 30.09.2014 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 13.05.2015 angenommen.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	4
1.1	Definitionen der Arbeitsbelastung	4
1.2	Gründe für die Erfassung der Arbeitsbelastung in der Anästhesie	5
1.3	Bisher in der Anästhesie verwendete Methoden zur Erfassung der Arbeitsbelastung	7
1.4	Augenbewegungsparameter als Maß für die Arbeitsbelastung	8
2	Fragestellung	10
3	Methodik	11
3.1	Studiendesign und Beschreibung der Studie	11
3.2	Simulation	12
3.2.1	Simulatorausstattung	12
3.2.2	Simulierte Szenarien	13
3.3	Datenerhebung	15
3.3.1	Physiologische Parameter	15
3.3.2	Fragebogen	18
3.4	Statistische Auswertung	19
4	Ergebnisse	22
4.1	Probanden und Simulator	22
4.1.1	Eingeschlossene Probanden	22
4.1.2	Simulator	22
4.2	Pupillengröße	24
4.2.1	Individuelle Verläufe der Pupillengröße	24
4.2.2	Vergleich zwischen den Narkoseeinleitungen II und III	25
4.2.3	Vergleich zwischen den Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall	26
4.2.4	Pupillengröße und Simulatorstadien	26
4.3	Fixationsdauer	27
4.3.1	Vergleich zwischen den Narkoseeinleitungen II und III	27
4.3.2	Vergleich zwischen den Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall	28
4.3.3	Fixationsdauer und Simulatorstadien	28

4.4	Sakkadenamplitude	29
4.4.1	Vergleich zwischen den Narkoseeinleitungen II und III	29
4.4.2	Vergleich zwischen den Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall	30
4.4.3	Sakkadenamplitude und Simulatorstadien	30
4.5	Herzfrequenz	31
4.5.1	Vergleich zwischen den Narkoseeinleitungen II und III	31
4.5.2	Vergleich zwischen den Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall	32
4.5.3	Herzfrequenz und Simulatorstadien	32
4.6	Subjektive Arbeitsbelastung	33
4.7	Evaluation der Studie	34
5	Diskussion	35
5.1	Pupillendurchmesser	35
5.2	Fixationsdauer	37
5.3	Sakkadenamplitude	38
5.4	Herzfrequenz	40
5.5	Bewertung der subjektiven Arbeitsbelastung	42
5.6	Praktikabilität des Blickbewegungsregistrierungssystems	45
5.7	Studiendesign	46
5.8	Ausblick	48
6	Zusammenfassung	50
	Abbildungsverzeichnis	51
	Tabellenverzeichnis	53
	Literaturverzeichnis	54
	Anhang	59
	Publikationsverzeichnis	60
	Lebenslauf	61
	Danksagung	62

1 Einleitung

„For a task in real life, like grinding a knife,
The workload can hardly be found
A useable measure would be a great treasure
For the chap with his nose to the ground.“ (Senders 1987)

John Senders

1.1 Definitionen der Arbeitsbelastung

Der Begriff „Arbeitsbelastung“ ist intuitiv leicht zu verstehen. Aus wissenschaftlicher Sicht ist es aber schwierig, Arbeitsbelastung präzise zu definieren (Gaba et Lee 1990; Gopher et Donchin 1986; Kantowitz et Casper 1988).

Der Begriff „mentale Arbeitbelastung“ wird oft verwendet um die Menge an mentaler Anstrengung zu beschreiben, die nötig ist, um eine vorgegebene Aufgabe auszuführen (Welford 1978).

Wenn man also annimmt, dass eine „mentale Gesamtkapazität“ die Fähigkeit eines Menschen, Informationen zu verarbeiten, begrenzt, ist die mentale Arbeitsbelastung ein Maß für den Anteil an dieser Gesamtkapazität, der notwendig ist um eine bestimmte Tätigkeit auszuführen (Williges et Wierwille 1979).

Neben den Anforderungen einer Tätigkeit spielen auch die Umstände der Ausführung und der Ausführende selbst mit seinen Fähigkeiten, Verhaltensweisen und seiner Wahrnehmung eine bedeutende Rolle (Hart et Staveland 1988). Das Zusammenspiel dieser Faktoren, wie sie von Hart und Staveland definiert wurden, zeigt Abb. 1 mit angefügten Beispielen aus der Anästhesie.

Im Modell von Annett wird die Arbeitsbelastung als Gleichgewicht zwischen der Herausforderung einer Tätigkeit und der Antwort darauf beschrieben. Die Arbeitsbelastung ist dabei eine latente Variable, die an Hand von messbaren Variablen definiert werden kann (Annett 2002).

Tätigkeitsanforderungen, Anstrengung, Leistung (Farmer et Brownson 2003) und insbesondere Aufmerksamkeit (Leedal et Smith 2005) sind weitere Schlüsselaspekte der Arbeitsbelastung in der Anästhesie.

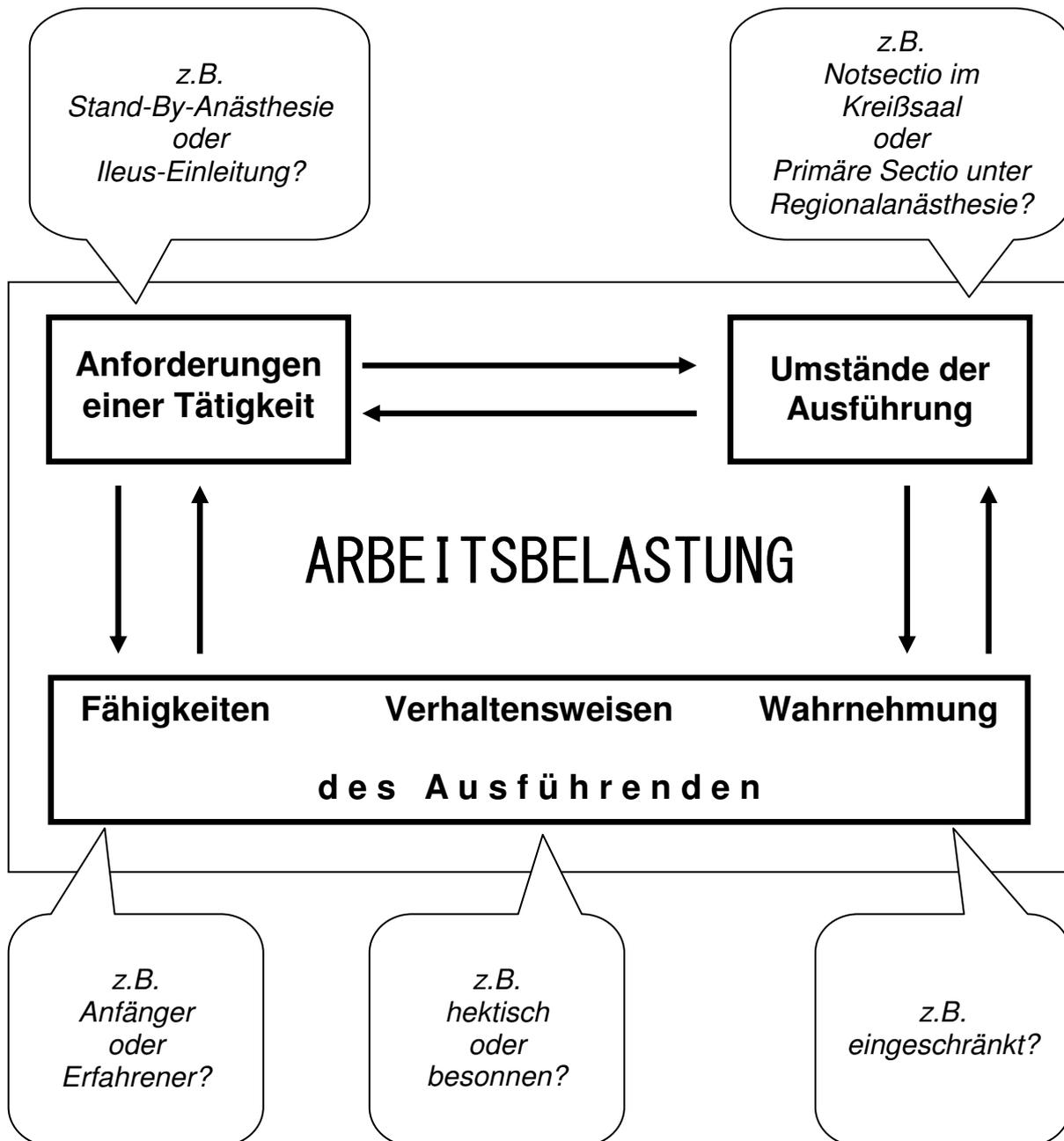


Abb. 1.1: Modell der Arbeitsbelastung adaptiert nach Hart und Staveland (Hart et Staveland 1988)

1.2 Gründe für die Erfassung der Arbeitsbelastung in der Anästhesie

Am Hochrisikoarbeitsplatz Anästhesie sind bis zu 80% der Narkosezwischenfälle auf menschliches Versagen zurückzuführen (Fletcher et al. 2002). Das Auftreten von Fehlern wird mit zunehmender Arbeitsbelastung begünstigt (Morris et Leung 2006; Stassen et al. 1990; Wood 1986). So gaben in einer Befragung 63% von 305

Anästhesisten an, Fehler auf Grund von übermäßiger Arbeitsbelastung gemacht zu haben (Gaba et al. 1994).

Im Umfeld der Anästhesie spielt die Arbeitbelastung und ihre Erfassung eine bedeutende Rolle:

- Die Erhöhung mentaler Arbeitsbelastung kann zu einer Zunahme von Tätigkeits-Fehlern führen (Morris et Leung 2006).
- Unterschiedliche Stressoren, z.B. Übermüdung, können den Umgang des Anästhesisten mit großer Arbeitsbelastung im Sinne einer erniedrigten mentalen Gesamtkapazität (Williges et Wierwille 1979) (siehe 1.1) erschweren (Gaba et Lee 1990).
- Neben stark erhöhter Arbeitsbelastung spielt auch stark erniedrigte Arbeitsbelastung im Sinne von Unterforderung eine Rolle bei der Entstehung von Zwischenfällen (Kantowitz et Casper 1988; Nachreiner 1995). Auf Grund verminderter Aufmerksamkeit kann der Anästhesist sich kein adäquates Bild mehr von der Situation des Patienten machen und mögliche Probleme schwieriger erkennen.
- Für die Entwicklung optimierter Monitorsysteme und Narkosegeräte (Saunders et Jewett 1983) und für den Nachweis über deren Vorteile in Bezug auf eine Arbeitserleichterung ist die Messung von Arbeitsbelastung eine wichtige Grundlage (Gaba et Lee 1990).
- Durch zusätzliche Monitore und Aufgaben kann es andererseits aber auch zu einer Erhöhung der Arbeitbelastung kommen, durch die potentielle Notfälle möglicherweise verzögert erkannt und therapiert werden (Gaba et Lee 1990).

Auch in anderen Bereichen wie der Luftfahrt, der Atomindustrie und im Straßenverkehr kommt der mentalen Arbeitsbelastung in Hinblick auf die Sicherheit eine große Bedeutung zu (Gaba et Lee 1990; Jordan 1998; Kantowitz et Casper 1988).

Daher sind valide Instrumente zur Erfassung von Arbeitsbelastung notwendig, um am Hochrisikoarbeitsplatz Anästhesie die Patientensicherheit zu erhöhen.

1.3 Bisher in der Anästhesie verwendete Methoden zur Erfassung der Arbeitsbelastung

In der Literatur sind verschiedene Methoden und Parameter zur Quantifizierung von Arbeitsbelastung beschrieben. Dabei können subjektive und objektive Methoden unterschieden werden.

Subjektive Methoden zur Erfassung der Arbeitsbelastung sind die RPE-Skala (Rating of Perceived Exertion) von Borg (Borg 1970) und der NASA Task Load Index (NASA-TLX) (Wickens et Hollands 1992), bei denen die Untersuchten selbst auf visuellen Analog-Skalen die subjektive Arbeitsbelastung angeben.

Die Borg-Skala ist eindimensional und stellt ein globales Maß für die subjektiv empfundene Anstrengung dar. Sie berücksichtigt jedoch nicht die Art der Anstrengung (Borg 1982). In anästhesiologischen Studien waren die RPE-Werte ein valides Maß zur subjektiven Einschätzung von Arbeitsbelastung (Cao et al. 2008; Slagle et Weinger 2009; Weinger et al. 1997; Weinger et al. 1994; Weinger et al. 2004). Die RPE-Skala nimmt Werte von 6 bis 20 an, die mit der tatsächlichen Herzfrequenz (60 bis 200 min⁻¹) korreliert (Borg 1962a,1962b,1982; Bridger 2003; Mihevic 1981).

Im Gegensatz dazu unterscheidet der mehrdimensionale NASA Task Load Index (NASA-TLX) sechs Kategorien der Arbeitsbelastung (mentale, physische und zeitliche Anforderung, Erfolg, Anstrengung, Frustration), die unabhängig voneinander auf einer visuellen Analogskala bewertet und in einem zweiten Schritt gegeneinander gewichtet werden (Wickens et Hollands 1992). Auch der NASA TLX wurde bereits in anästhesiologischen Studien eingesetzt (Byrne et al. 2010; Charabati et al. 2009; Weinger et al. 2004; Young et al. 2008). Die Handhabung ist im Vergleich zur RPE-Skala allerdings deutlich aufwändiger.

Zur objektiven Messung der Arbeitsbelastung anhand von physiologischen Parametern wurde in verschiedenen Arbeiten die Herzfrequenz gemessen (Dyer et Byrne 2002; Kain et al. 2002; Weinger et al. 2004). Eine Sympathikusaktivierung durch vermehrte physische oder mentale Arbeitsbelastung führt zu einem Anstieg der Herzfrequenz.

Daneben diene die indirekte und direkte Erfassung mentaler Reservekapazitäten als weitere objektive Methode zur Messung der Arbeitsbelastung. Als indirekte Messmethode wurden während der Durchführung und Überwachung von realen und simulierten Narkosen die Latenzzeiten bis zur Ausführung von untergeordneten sekundären Aufgaben bestimmt. Dazu gehörten das Lösen von zufällig eingespielten Additionsaufgaben (Gaba et Lee 1990), das Erkennen eines zufällig aufleuchtenden Alarmlichts (Cao et al. 2008; Slagle et Weinger 2009; Weinger et al. 1994), und das Bestätigen von Vibrationen, welche durch ein am Arm der Probanden befestigtes Vibrationsgerät zufällig ausgelöst wurden (Byrne et al. 2010; Byrne et al. 2013; Davis et al. 2009). Ein Nachteil dieser Verfahren ist ihre Abhängigkeit von der Mitarbeit und Motivation der Probanden.

In einer weiteren Studie wurde die mentale Reservekapazität direkt bestimmt, indem die Fehlerquote bei der Dokumentation der Patienten-Vitalparameter während simulierter Narkosezwischenfälle untersucht wurde (Byrne et al. 1998).

1.4 Augenbewegungsparameter als Maß für die Arbeitsbelastung

Vor allem Studien in der Luftfahrt und im militärischen Umfeld untersuchten den Einfluss von Arbeitsbelastung auf Augenbewegungsparameter. Zu diesen zählen neben dem Pupillendurchmesser die Fixationsdauer und die Sakkadenamplitude. Die Fixationsdauer ist die Zeit zwischen den Sakkaden, die Sakkadenamplitude ist der Winkelausschlag dieser schnellen Augenbewegungen (Joos et al. 2003). Unter gesteigerter Arbeitsbelastung, z.B. in Form komplexer Flugmanöver, erhöhte sich der Pupillendurchmesser (Simpson et Hale 1969; van Orden et al. 2001), während die Sakkadenamplitude (May et al. 1990; van Orden et al. 2001) abnahm.

Bei der Fixationsdauer waren die Ergebnisse widersprüchlich und scheinen vor allem von der dabei zu lösenden Aufgabe abzuhängen. So nahm die Fixationsdauer bei primären Aufgaben wie z.B. simulierten komplexen Flugmanövern meist ab (Duchowski 2002; de Rivecourt et al. 2008; Svensson et Wilson 2002), während sie bei sekundären kognitiven Aufgaben, wie zum Beispiel der verbalen Kategorisierung von Zahlenreihen während simulierter einfacher Flugmanöver (Tole et al. 1982), zunahm (Callan 1998; Hoogeboom et Hilburn B. 2001; Tole et al. 1982).

In einer weiteren Studie konnten keine Veränderung der Fixationsdauer unter erhöhter primärer Arbeitsbelastung nachgewiesen werden (van Orden et al. 2001).

Augenbewegungsparameter wurden bisher noch nie verwendet, um die Arbeitsbelastung von Anästhesisten zu messen, da die bisher verwendeten Messvorrichtungen deren Beweglichkeit zu stark einschränken würden.

2 Fragestellung

Somit ist das Ziel dieser Untersuchung mit einem Blickbewegungsregistrierungssystem Parameter zu Pupillengröße und Augenbewegungen zu erfassen und zu prüfen, ob damit die Arbeitsbelastung von Anästhesisten und Anästhesistinnen quantifiziert werden kann. Weiters soll geprüft werden, ob die Herzfrequenz und die Borg-Skala geeignet sind unterschiedliche Grade der Arbeitsbelastung zu erfassen.

Dafür wird die Hypothese geprüft, dass bei zunehmender Arbeitsbelastung die Sakkadenamplitude und die Fixationsdauer abnehmen und gleichzeitig die Pupillengröße, die Herzfrequenz und die subjektive Anstrengung zunehmen.

Ein weiteres Ziel der Studie ist, die Praktikabilität des Blickbewegungsregistrierungssystems hinsichtlich zukünftiger Studien im realen Operationsumfeld zu überprüfen.

3 Methodik

3.1 Studiendesign und Beschreibung der Studie

Nach Genehmigung durch die Ethikkommission der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München (Projekt Nummer 2411/09) wurde diese Studie in einem Crossover-Design durchgeführt.

An den Versuchen im Mai und Juni 2009 am Simulationszentrum der Klinik für Anästhesiologie nahmen 9 Anästhesisten und 8 Anästhesistinnen (im Folgenden als „Probanden“¹ oder „Anästhesisten“¹) bezeichnet) teil. Alle Probanden gaben eine schriftliche Einverständniserklärung ab.

Jeder Proband wurde gebeten, an einem Patientensimulator an drei unterschiedlichen Tagen jeweils eine Narkose einzuleiten (Narkoseeinleitungen I, II und III). Dabei wurden der Pupillendurchmesser, die Sakkadenamplitude, die Fixationsdauer und die Herzfrequenz kontinuierlich aufgezeichnet. Im Anschluss an jeden Versuch wurden die Probanden gebeten, die während des Versuchs wahrgenommene Arbeitsbelastung auf der Borg-Skala zu bewerten. Die erste Narkoseeinleitung diente der Gewöhnung der Probanden an den Patientensimulator und wurde nicht ausgewertet.

Um die Arbeitsbelastung der Probanden zu steigern, wurde ein standardisierter Zwischenfall (anaphylaktischer Schock) simuliert.

Vor der Narkoseeinleitung I wurde dem jeweiligen Probanden mitgeteilt, dass während dieser Narkoseeinleitung kein Zwischenfall auftreten würde, in den weiteren Narkoseeinleitungen möglicherweise aber schon. Vor Narkoseeinleitung II wussten die Probanden und Untersucher nicht, ob ein Zwischenfall auftreten würde oder nicht. Die Randomisierung erfolgte während der Narkoseeinleitung II, nachdem der

¹Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wurde im weiteren Text auf explizite geschlechtsspezifische Schreibweisen verzichtet. Die verwendeten Personen- und Berufsbezeichnungen sind als geschlechtsneutral zu betrachten.

Proband den Simulationsraum betreten hatte. Falls während Narkoseeinleitung II kein Zwischenfall aufgetreten war, trat dieser während Narkoseeinleitung III auf und umgekehrt. So wurden für jeden Probanden eine Narkoseeinleitung mit und eine Narkoseeinleitung ohne Zwischenfall ausgewertet. Um Übertragungseffekte möglichst gering zu halten, fanden die Narkoseeinleitungen an unterschiedlichen Tagen statt.

3.2 Simulation

3.2.1 Simulatorenausstattung

Die Räumlichkeiten am Simulationszentrum bestanden aus einem Steuerungsraum und einem Simulationsraum, der für diese Studie als Narkose-Einleitungsraum ausgestattet war. Die Geschehnisse im Simulationsraum wurden aus dem Steuerungsraum akustisch und visuell über Raummikrophone und Kameras verfolgt.

Der eingesetzte Patientensimulator (HPS®, Meti, Sarasota, Florida, USA) verfügt über ein differenziertes physiologisches Modell, das die Veränderungen sichtbarer oder messbarer Parameter des Simulators steuert. Sowohl während der Spontanatmung als auch während künstlicher Beatmung gibt das System je nach physiologischem Zustand des Modells unterschiedliche Kohlendioxidkonzentrationen ab. Diese können mit dem Gasanalysator des eingesetzten Narkosegeräts quantifiziert werden. Die Pupillengröße des Patientensimulators verändert sich durch verschiedene Einflüsse (z.B. Licht, Medikamente, intrakranieller Druck). Während Spontanatmung oder invasiver Beatmung werden die entsprechenden Thoraxexkursionen dargestellt. Wenn der Patientensimulator endotracheal intubiert und mit einem Narkosegerät beatmet wird, erfasst das Narkosegerät Veränderungen der Beatmungsdrücke. Darüber hinaus sind Herztöne und Atemgeräusche auskultierbar und periphere Pulse palpabel. Das System emuliert alle Signale, um mit handelsüblichen Monitorsystemen alle relevanten Vitalparameter wie Elektrokardiogramm, periphere Sauerstoffsättigung und invasiv gemessenen Blutdruck darzustellen. Über einen in den Patientensimulator eingebauten Lautsprecher konnten aus dem Steuerungsraum alle Fragen der Probanden an den simulierten Patienten beantwortet werden.

Die Substanz und die Dosis intravenös applizierter (simulierter) Medikamente wird automatisch mittels eines speziellen Strichcodelesegeräts, in das destilliertes Wasser gespritzt werden konnte, erkannt. Die pharmakologischen Wirkungen der Medikamente fließen unmittelbar in das physiologische Modell des Simulators ein und machen sich somit unter Umständen an veränderten Vitalparametern bemerkbar. Eine Veränderung der Hautfarbe, zum Beispiel im Sinne eines Erythems, ist nicht möglich.

Im Simulationsraum befand sich darüber hinaus ein voll ausgestatteter Anästhesiearbeitsplatz mit einem Narkosegerät (Sulla 808V, Drägerwerke AG, Lübeck, Deutschland) und einem Monitor (Datex AS/3, GE Healthcare, Fairfield, Connecticut, USA) zur Überwachung des Patienten mit EKG, Pulsoxymetrie, nicht-invasiver arterieller Blutdruckmessung, Kapnographie und Messung der Atemwegsdrücke und -flüsse. Darüber hinaus bestand für die Probanden die Möglichkeit das Monitoring zu erweitern, beispielsweise um eine invasive arterielle Blutdruckmessung.

Während aller Versuche wurden die Probanden von derselben simulatorerfahrenen Anästhesiepflegekraft unterstützt.

Ein Telefon ermöglichte im Bedarfsfall das Hinzuziehen eines Oberarztes.

3.2.2 Simulierte Szenarien

Die simulierten Patienten hatten weder relevante Vorerkrankungen noch Risikofaktoren für eine Allgemeinanästhesie und sollten eine Allgemeinnarkose für einen elektiven chirurgischen Eingriff erhalten. Es bestand keine Indikation für eine invasive Blutdruckmessung oder ein sonstiges erweitertes Monitoring. Die geplanten Eingriffe waren eine explorative Laparotomie wegen unklarer abdomineller Beschwerden, eine Umbilical- und eine Inguinalhernioplastik.

Für den Ablauf der Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall wurden mit der Steuerungssoftware zwei Skripte (Skript A und B) geschrieben. Diese Skripte gewährleisteten, dass zu Beginn jeder Narkoseeinleitung die physiologischen

Einstellungen des Patientensimulators (z.B. Compliance der Lunge, systemischer Gefäßwiderstand, Kontraktilitätsfaktor und Frequenzfaktor des Herzens, intravasaler Volumenstatus) identisch waren (Skript A) und dass diese sich während des Zwischenfalls in einer vorab definierten zeitlichen Abfolge änderten (Skript B). Dazu wurde in beiden Skripten der zeitliche Verlauf der Simulationen in Stadien unterteilt, innerhalb derer sich die physiologischen Simulatoreinstellungen nach dem programmierten Muster änderten. Die Veränderungen dieser physiologischen Simulatoreinstellungen machten sich an veränderten Vitalparametern am Patientenmonitor bemerkbar.

Die Dauer der Stadien war entweder durch eine vorgegebene Zeit bestimmt oder hing von der Verwendung einer bestimmten Medikamentengruppe ab. Dieses Vorgehen stellte einen standardisierten Ablauf der Szenarien sicher und ermöglichte gleichzeitig einen auf die Maßnahmen der Probanden abgestimmten dynamischen Verlauf.

Die physiologischen Simulatoreinstellungen, die daraus resultierenden Vitalparameter und die Menge der applizierten Medikamente wurden im zeitlichen Verlauf in Log-Dateien aufgezeichnet.

Skript A wurde zu Beginn jeder Narkoseeinleitung gestartet. Es enthielt die Stadien 1 („Beginn der Messung“) und 2 („Hypnotikum gegeben“). Der Wechsel von Stadium 1 zu Stadium 2 erfolgte automatisch durch die Gabe eines Hypnotikums. Skript B wurde zusätzlich gestartet, wenn nach der Randomisierung der Zwischenfall auftreten sollte. Dann reagierte der simulierte Patient allergisch auf das verwendete Hypnotikum und entwickelte einen anaphylaktischen Schock. In diesem Fall erfolgte nach einer Latenzzeit von 3 Sekunden der Wechsel von Stadium 2 in Stadium 3 („Beginn der Anaphylaxie“). Nach 100 Sekunden erfolgte der Wechsel in Stadium 4 („Milde Anaphylaxie“). Zu diesem Zeitpunkt wurde der Pfleger über einen Funkkopfhörer angewiesen, den Probanden auf ein (durch den Simulator nicht darstellbares) generalisiertes Erythem des Patienten hinzuweisen. Nach weiteren 100 Sekunden erfolgte der Wechsel in Stadium 5 („Moderate Anaphylaxie“), nach wiederum 100 Sekunden der Wechsel in Stadium 6 („Schwere Anaphylaxie“). Die Simulatorstadien 3 bis 5 entsprachen in etwa den Anaphylaxie-Graden I bis II nach Ring und Messmer (Ring et Messmer 1977). Erhielt der Patient Adrenalin erfolgte unabhängig vom momentanen Stadium automatisch der Wechsel zu Stadium 7

(„Beginn der Erholung“) und nach 60 Sekunden zu Stadium 8 („Vollständige Erholung“).

Das Vollbild des anaphylaktischen Schocks mit arterieller Hypotension, Tachykardie und Bronchospasmus entwickelte sich insgesamt über einen Zeitraum von 6 Minuten nach Applikation des Hypnotikums. Sonstige Maßnahmen, wie zum Beispiel die Gabe von Histaminrezeptorantagonisten, Glucocorticoiden, kristalloider oder kolloidaler Flüssigkeit, hatten keinen Einfluss auf die Abfolge der Simulatorstadien.

Somit stellten die Simulatorstadien 3 bis 6 einen Anstieg und die Stadien 7 und 8 einen Abfall der Arbeitsbelastung im Verlauf der Narkoseeinleitung mit Zwischenfall dar.

Die Szenarien liefen vollständig automatisch ab und erforderten kein Eingreifen durch die Untersucher.

Die Szenarien wurden beendet, sobald die Narkoseeinleitung abgeschlossen war und der Proband den Patienten zur OP-Lagerung frei gab.

3.3 Datenerhebung

3.3.1 Physiologische Parameter

Das verwendete Blickbewegungsregistrierungssystem EyeSeeCam (Brandt et al. 2006; Schneider et al. 2009) besteht aus einer unbeweglichen Weitwinkel-Szenenkamera, einer blickgesteuerten Kamera und zwei seitlich montierten Infrarotkameras, welche die Augen- und Pupillenbewegungen erfassen (Abb. 3.1). Die von den Infrarotkameras binokular erfasste zweidimensionale Augenposition (Blickbewegungsregistrierungskomponente) wird durch einen auf dem Rücken des Probanden getragenen Laptop in Signale zur Steuerung der beweglichen Kopfkamera umgewandelt. Die Übertragungslatenz zwischen den Augenbewegungen und dem Ausrichten der beweglichen Kamera auf das Blickziel des Probanden (Abb. 3.2) beträgt 18 ms, die räumliche Auflösung ist $<0,1^\circ$ und die totale Genauigkeit liegt im Bereich von $0,5^\circ$.

Mit einem Herzfrequenzmessgerät, bestehend aus einem Brustgurt und einer Armbanduhr (Polar Electro Oy, Kempele, Finnland), wurde die Herzfrequenz kontinuierlich elektrokardiographisch erfasst und auf dem selben Laptop gespeichert.

Neben der Herzfrequenz und den durch die Szenenkamera und die blickgesteuerte Kamera erzeugten Videostreamen speicherte der Laptop mit der Blickbewegungsregistrierungskomponente Daten über die Augenposition (Haslwanter et al. 1994) und die Pupillengröße mit einer Frequenz von 300Hz.

Vor jeder Narkoseeinleitung wurde das System innerhalb weniger Minuten an den Probanden angepasst und kalibriert. Der zugehörige Laptop wurde von den Probanden in einer Umhängetasche auf dem Rücken getragen. Die Aufzeichnungen begannen beim Betreten und endeten beim Verlassen des Simulationsraumes durch den Probanden. Nach dem Verlassen des Simulationsraums wurde dem Probanden das System wieder abgenommen.

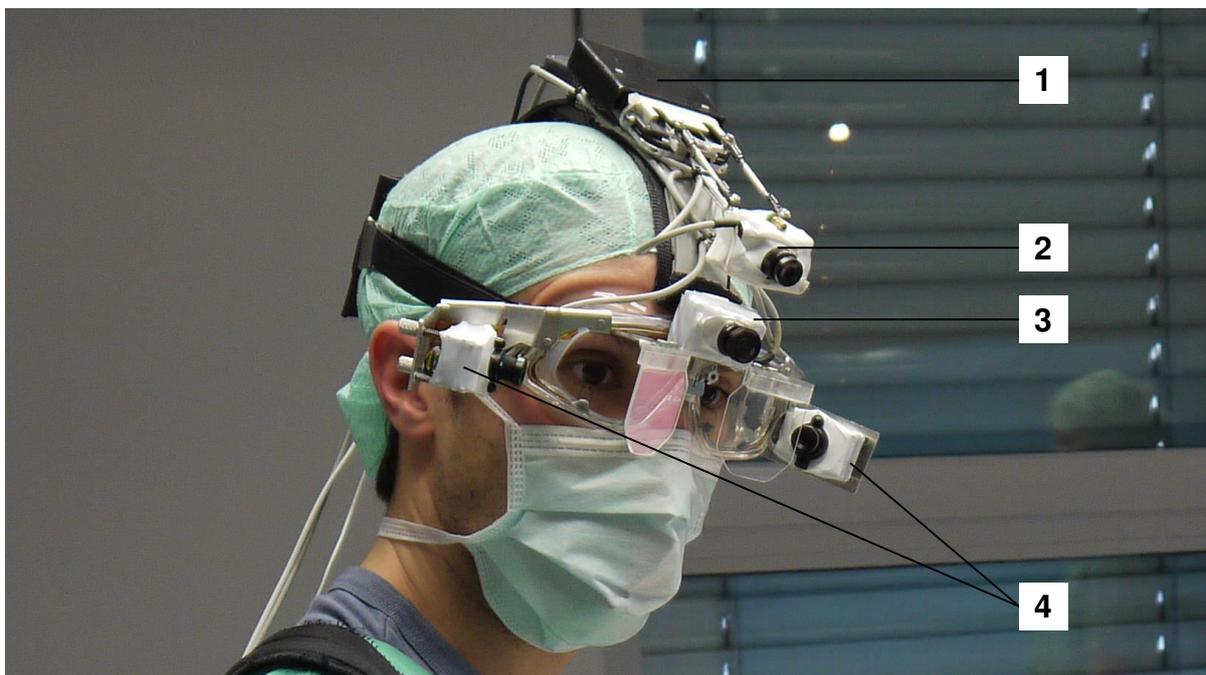


Abb. 3.1: Die EyeSeeCam mit den beiden unten seitlich angebrachten Infrarotkameras (4), die über Infrarotspiegel die Pupillen- und Augenbewegungen aufzeichnen (Komponente zur Blickbewegungsregistrierung). Die mittlere Szenenkamera (3) ist fest montiert. Über die seitlich registrierten Augenbewegungen werden die Servomotoren (1) gesteuert, welche die obere bewegliche Kamera (2) auf das Blickziel ausrichten. Diese Kamera ist somit blickgesteuert.

Zur Prozessierung der Rohdaten wurden zwei Matlab-Makros (Mathworks, Natick, Massachusetts, USA) programmiert. Das erste Makro synchronisierte die Rohdaten des Blickbewegungsregistrierungssystems mit den Log-Dateien des Simulators. Dieses Vorgehen ermöglichte, die Daten zu Pupillengröße und Augenbewegung in einen zeitlichen Zusammenhang mit der Entwicklung des Szenarios zu setzen. Das zweite Makro diente dazu, mittels eines speziellen Algorithmus (Ladda et al. 2007) die Anfangs- und Endpunkte der Sakkaden und Fixationen festzulegen.

Der so entstandene Datensatz enthält die Start- und Endzeitpunkte der einzelnen Sakkaden und Fixationen. Für jede Sakkade und jede Fixation wurde jeweils ein Wert für die Fixationsdauer [s], die Sakkadenamplitude [°], die Pupillengröße [arbitrary units, AU] und die Herzfrequenz des Probanden [min^{-1}] ermittelt. Darüber hinaus wurde das jeweils aktuelle Simulatorstadium (1-8) zugeordnet. Die Pupillengröße wird als Länge der Hauptachse der ellipsenförmigen Pupille in arbitrary units angegeben, da eine Messung der Pupillengröße in Absolutwerten aufgrund der interindividuellen Differenzen der Abstände zwischen den Augen und dem Blickbewegungsregistrierungssystem nicht möglich ist.

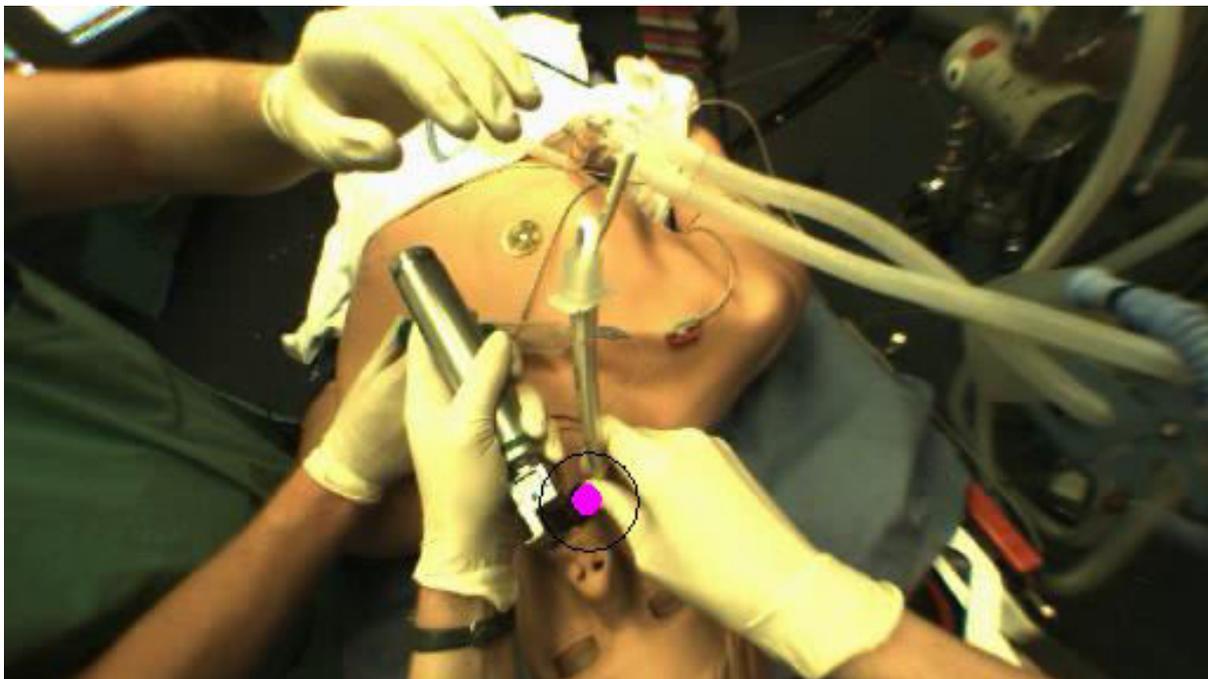


Abb. 3.2: Der eingekreiste magentafarbene Punkt zeigt das Blickziel des Probanden während der endotrachealen Intubation.

3.3.2 Fragebogen

Zur Erfassung und Bewertung der subjektiven Arbeitsbelastung während der Narkoseeinleitung gaben die Probanden unmittelbar nach den Narkoseeinleitungen einen Wert zur empfundenen Anstrengung auf der ordinal skalierten Borg-Skala (Borg 1970) an (Tabelle 3.1).

Diese Skala war in einen standardisierten Fragebogen (Original im Anhang) eingebettet, der zusätzlich neun Fragen zur Evaluation der Studie enthielt (Tab. 3.2).

RPE-Werte	empfundene Anstrengung
6	überhaupt keine Anstrengung
7	
8	extrem gering
9	sehr gering
10	
11	gering
12	
13	einigermaßen groß
14	
15	groß
16	
17	sehr groß
18	
19	extrem
20	maximale Anstrengung

Tab. 3.1: RPE-Skala nach Borg (Ratings of Perceived Exertion) (Borg 1970)

1. Wie bewerten Sie den Realitätsgrad der Szenarien heute?	sehr unrealistisch	unrealistisch	weiß nicht	realistisch	sehr realistisch
2. Hat die Kopfkamera Sie bei Ihrer Arbeit gestört?	überhaupt nicht	kaum	weiß nicht	ja	ja sehr
3. Wie realistisch war das Simulationsteam im Szenario?	sehr unrealistisch	unrealistisch	weiß nicht	realistisch	sehr realistisch
4. Waren Sie während des Szenarios gestresst wegen des Gefühls genau beobachtet zu werden?	nein	eher nein	weiß nicht	eher ja	ja
5. Wie war Ihre Tagesverfassung /-befindlichkeit?	sehr schlecht	schlecht	mittel	gut	sehr gut
6. Hat die Kopfkamera Ihre Bewegungsfreiheit eingeschränkt?	überhaupt nicht	eher nein	weiß nicht	ja	ja sehr
7. War die Simulatoreinführung ausführlich genug?	unvollständig		zu lang		genau richtig
8. Hat die Kopfkamera die Behandlung des Patienten beeinträchtigt?	überhaupt nicht	eher nein	weiß nicht	etwas	ja
9. Wenn Sie bei Frage 8 „etwas“ oder „ja“ angekreuzt haben, wobei genau:					

Tab. 3.2: Fragen zur Evaluation der Studie

3.4 Statistische Auswertung

Einziges Einschlusskriterium in die statistische Auswertung war die Teilnahme an allen drei Narkoseeinleitungen. Es wurden nur die Daten der Narkoseeinleitungen II und III ausgewertet, da Narkoseeinleitung I lediglich zur Gewöhnung der Probanden an den Simulator diente.

Um den klinischen Verlauf der Narkoseeinleitung mit Zwischenfall darzustellen, wurden die Mittelwerte der Vitalparameter des Patientensimulators berechnet.

Locally Weighted Scatterplot Smoothing (LOESS) diente zur Visualisierung der deskriptiven Analyse der Verläufe der individuellen Pupillengröße. Diese lokal gewichteten angepassten kleinsten Quadrate glätteten den Verlauf der abhängigen

Variable „Pupillendurchmesser“ über die Zeit, um den Verlauf während eines Szenarios darzustellen.

In einem weiteren Schritt wurden für jeden Versuch als Gesamtes und für jedes einzelne Stadium innerhalb eines Versuchs die Mittelwerte der abhängigen Variablen Pupillengröße, Fixationsdauer, Sakkadenamplitude und Herzfrequenz bestimmt. Anschließend wurden Mittelwerte von Pupillengröße, Sakkadenamplitude und Herzfrequenz nach der Fixationsdauer gewichtet, um die Zeitabhängigkeit der Variablen zu berücksichtigen, da jeder erfasste Wert eine nur ihm zugehörige Zeit andauerte. Für die abhängige Variable Fixationsdauer, selbst ein Zeitmaß, wurden die einfachen Mittelwerte berechnet.

Um bei den Probanden mögliche Effekte wiederholten Trainings zwischen den Narkoseeinleitungen II und III zu erkennen, wurden die Mittelwerte dieser vier physiologischen Parameter vor dem möglichen Auftreten des Zwischenfalls im Simulatorstadium 1 („Beginn der Messung“) verglichen.

Anschließend wurden deren Mittelwerte von Versuchen mit und ohne Zwischenfall verglichen, um den globalen Einfluss der erhöhten Arbeitsbelastung zu erkennen.

Zusätzlich wurden diese Variablen im Hinblick auf ihren Verlauf *während* eines Zwischenfalls untersucht. Dazu wurden die Mittelwerte in den einzelnen Simulatorstadien berechnet und mit gemischten Modellen untersucht. Gemischte Modelle bestehen aus zufälligen und fixen Effekten. In diesem Fall waren die physiologischen Parameter die zufälligen Effekte und die Simulatorstadien, als Korrelat für die Arbeitsbelastung, die fixen Effekte.

Um einen autoregressiven Prozess erster Ordnung zu verfolgen, wurde die Korrelationsmatrix abhängiger Beobachtungen herangezogen. Das konditionale R^2 wurde nach der Methode von Vonesh und Chinchilli für Modelle mit gemischten Effekten (Vonesh et Chinchilli 1997) berechnet, um die Effekte der Simulatorstadien auf die abhängigen Variablen zu untersuchen.

Die Mittelwerte der empfundenen Arbeitsbelastung auf der Borg-Skala nach den Versuchen mit und ohne Zwischenfall wurden miteinander verglichen.

Um den Zusammenhang zwischen Herzfrequenz und subjektiver Bewertung der Arbeitsbelastung anhand der Borg-Skala zu untersuchen, wurde der Korrelationskoeffizient nach Kendall für alle Narkoseeinleitungen berechnet. Der Korrelationskoeffizient nach Kendall wurde dem Korrelationskoeffizienten nach Spearman vorgezogen, da es sich um eine kleine Stichprobe handelte. Darüber hinaus wurden die Regressionsgleichung für den RPE-Wert in Abhängigkeit der Herzfrequenz und das Bestimmtheitsmaß R^2 berechnet. Das Bestimmtheitsmaß R^2 beschreibt hier den Anteil der Information des RPE-Wertes, der durch die Herzfrequenz bedingt ist. Als Referenzwert für die RPE-Werte diente für die Narkoseeinleitung mit Zwischenfall die mittlere Herzfrequenz im Stadium 6 („Schwere Anaphylaxie“), da für dieses Stadium aufgrund der maximalen Ausprägung der Anaphylaxiesymptome die maximale Arbeitsbelastung im Verlauf der Simulation angenommen wurde. Für die Narkoseeinleitung ohne Zwischenfall wurde die maximale Arbeitsbelastung für die Phase nach der Hypnotikumgabe postuliert und damit die mittlere Herzfrequenz im Stadium 2 herangezogen.

Den Antwortmöglichkeiten der ordinal skalierten Evaluationsfragen wurden jeweils Werte zwischen 1 und 5 zugeordnet. Die Mittelwerte jeder Frage wurden jeweils für die Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall berechnet und auf signifikante Unterschiede untersucht.

Wenn nicht anders erwähnt, wurden alle Mittelwertvergleiche mittels des t-Test für gepaarte Stichproben durchgeführt. Alle Auswertungen und Tests wurden explorativ auf einem 5% Signifikanzniveau ausgeführt.

Die Berechnungen wurden mit der Statistiksoftware R 2.9.2 (R Foundation for Statistical Computing, Wien, Österreich) und PASW Statistics® 18.0.2 (SPSS Inc. 2010, Chicago, IL, USA) durchgeführt.

4 Ergebnisse

4.1 Probanden und Simulator

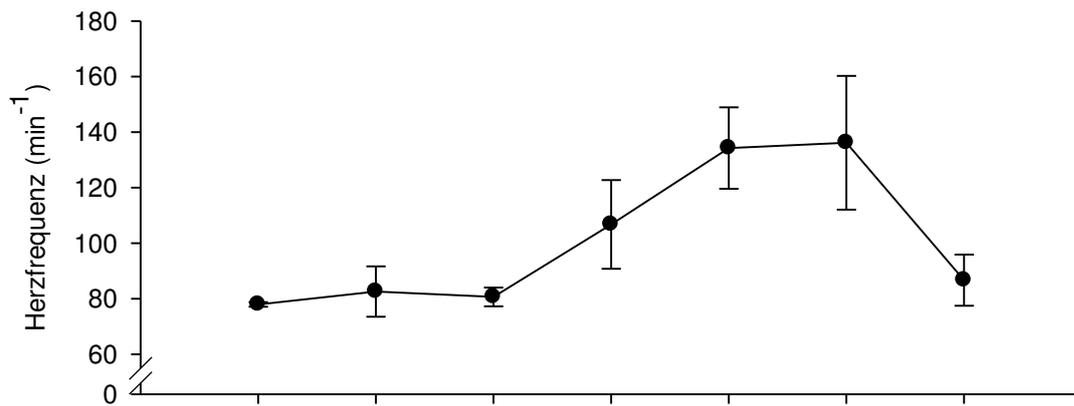
4.1.1 Eingeschlossene Probanden

An der Studie nahmen 17 Anästhesisten teil, von denen 2 auf Grund unvollständiger Datenaufzeichnungen ausgeschlossen wurden. Von den verbleibenden 15 absolvierten 11 (6 Männer und 5 Frauen) alle 3 Narkoseeinleitungen und wurden in die Auswertung einbezogen. Bei 2 dieser 11 Probanden wurde die Herzfrequenz während einer Narkoseeinleitung wegen technischer Probleme fehlerhaft aufgezeichnet. Deshalb wurden in die Auswertung der Herzfrequenz nur 9 Probanden eingeschlossen.

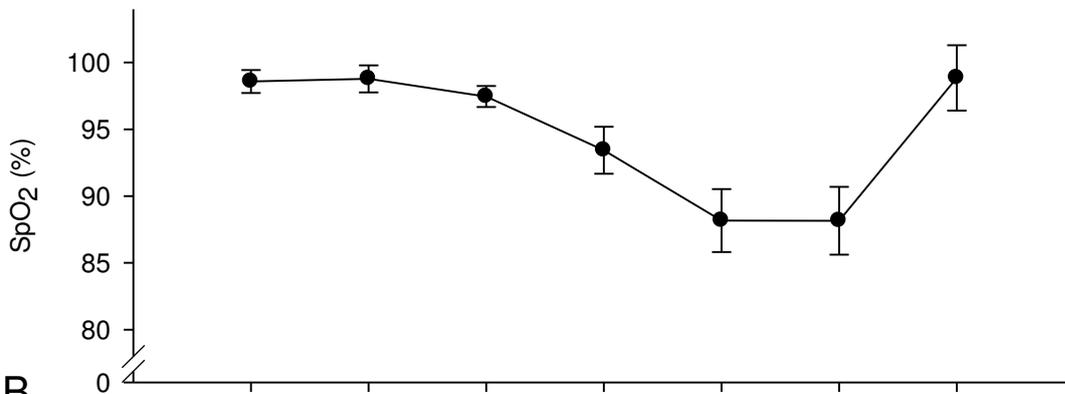
Die Probanden hatten zum Zeitpunkt der Studie im Median 3 [1 - 30] Jahre Berufserfahrung.

4.1.2 Simulator

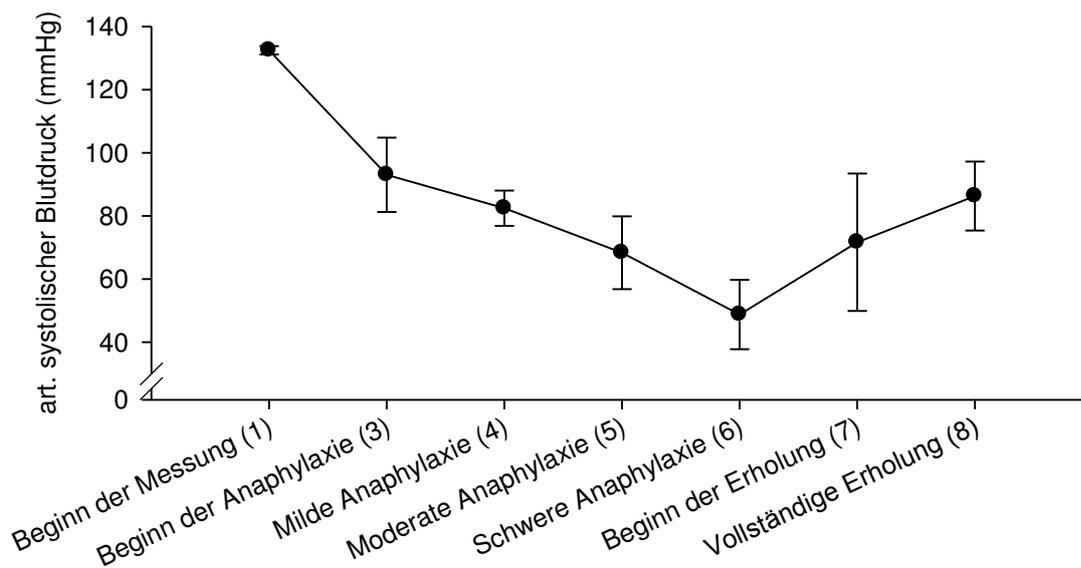
Im Verlauf der Anaphylaxie stieg die Herzfrequenz des simulierten Patienten an, die arterielle Sauerstoffsättigung und der systolische Blutdruck fielen ab. Nach der Gabe von Adrenalin kehrten diese Werte langsam zur Ausgangssituation zurück (Abb. 4.1).



A



B



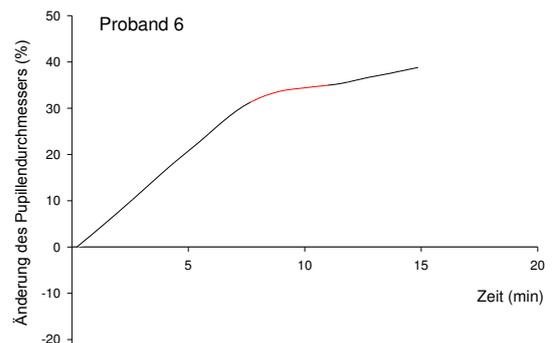
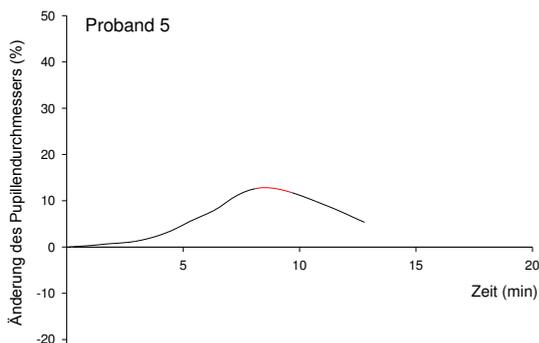
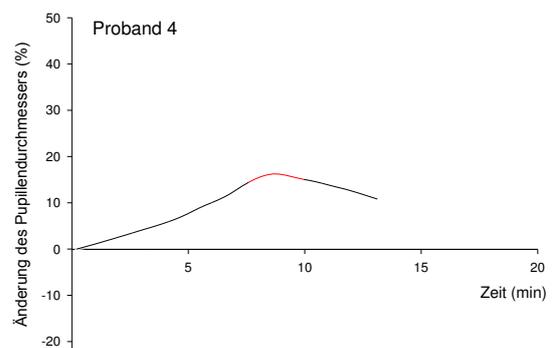
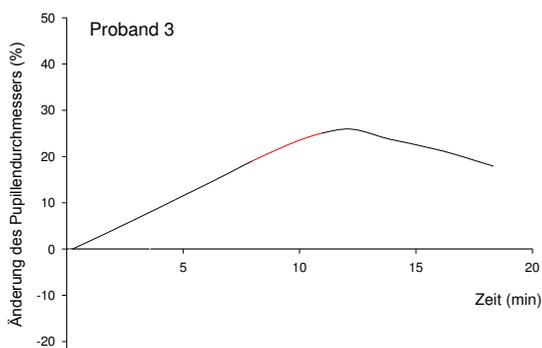
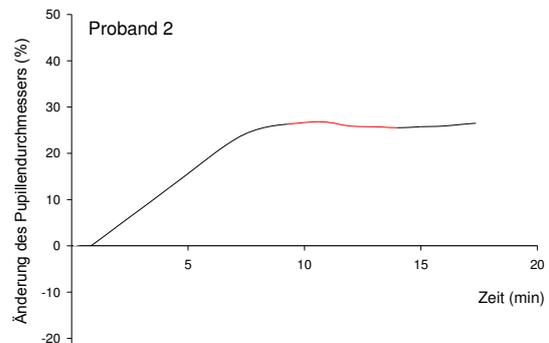
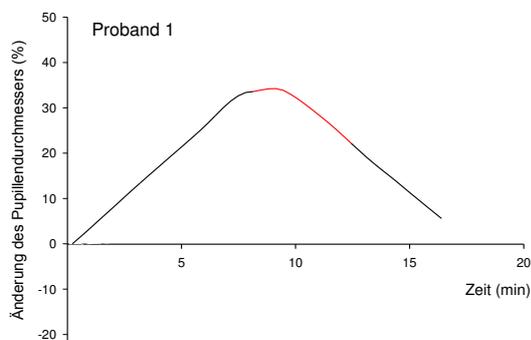
C

Abb. 4.1: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenz (A), der arteriellen Sauerstoffsättigung (B) und des arteriellen systolischen Blutdrucks (C) des Patientensimulators in Abhängigkeit der Simulatorstadien während der Narkoseeinleitungen mit Zwischenfall.

4.2 Pupillengröße

4.2.1 Individuelle Verläufe der Pupillengröße

Die Änderung der individuellen Pupillendurchmesser über die Zeit in Relation zum Ausgangsdurchmesser zeigt Abb. 4.2. Wegen technischer Probleme brach die Datenaufzeichnung während der Narkoseeinleitung mit Zwischenfall des Probanden Nr. 9 nach 549 Sekunden während des Simulatorstadium 6 („Schwere Anaphylaxie“) ab. Da der Proband das simulierte Szenario ohne Unterbrechung zu Ende führte, wurde er dennoch in die Auswertung eingeschlossen.



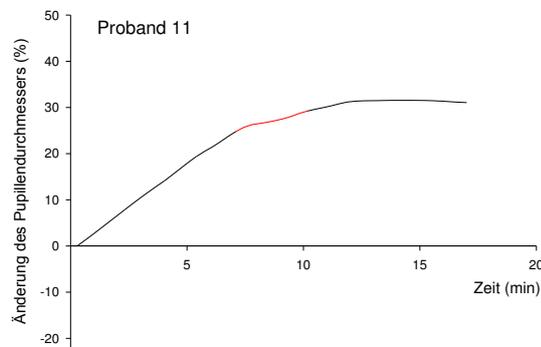
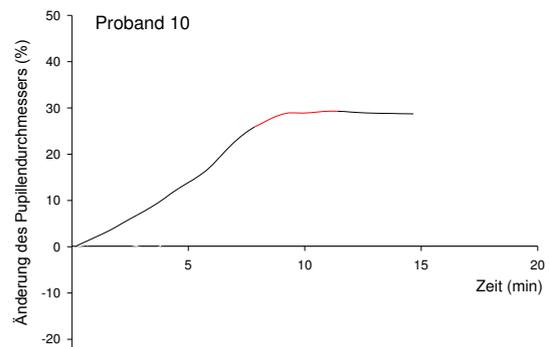
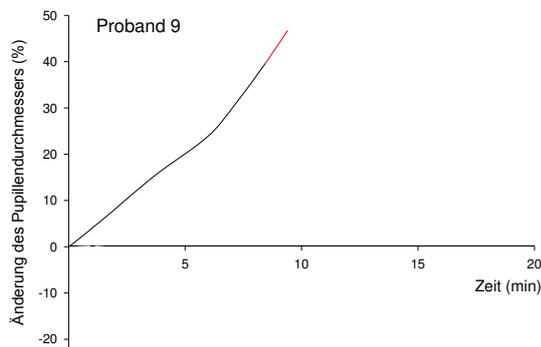
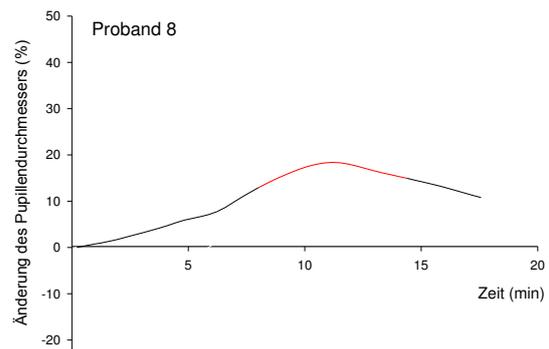
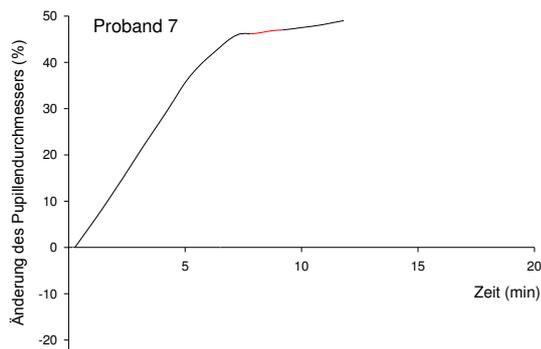


Abb. 4.2: Geglättete Verläufe des Pupillendurchmessers der einzelnen Probanden für die Narkoseeinleitungen mit Zwischenfall. Der Pupillendurchmesser ist in Abhängigkeit der Zeit als relative Abweichung zum Ausgangswert am Beginn der Messungen angegeben. Der Anteil des Stadiums 6 („Schwere Anaphylaxie“) am zeitlichen Verlauf als Korrelat für die maximale Arbeitsbelastung ist rot markiert.

4.2.2 Vergleich zwischen den Narkoseeinleitungen II und III

Der gewichtete Mittelwert des Pupillendurchmessers im Stadium 1 („Beginn der Messung“) war 11,40 AU für die Narkoseeinleitungen II und 11,51 AU während der Narkoseeinleitungen III. Die Differenz von 0,11 AU war nicht signifikant ($p=0,916$; 95%-Konfidenzintervall [-2,24; 2,47]).

Folglich ließen sich an der Pupillengröße keine Effekte wiederholten Trainings nachweisen.

4.2.3 Vergleich zwischen den Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall

Der gewichtete Mittelwert des Pupillendurchmessers war 11,44 AU für die Narkoseeinleitungen mit Zwischenfall und 12,61 AU für die Narkoseeinleitungen ohne Zwischenfall. Die Differenz von 1,17 AU war nicht signifikant ($p=0,136$; 95%-Konfidenzintervall [-2,79; 0,44]).

Somit konnte kein signifikanter globaler Einfluss der Arbeitsbelastung auf die mittlere Pupillengröße beim Vergleich der Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall festgestellt werden.

4.2.4 Pupillengröße und Simulatorstadien

Die Untersuchung des Einflusses der Arbeitsbelastung auf die abhängige Variable „Pupillendurchmesser“ mit gemischten Modellen innerhalb der Narkoseeinleitungen mit Zwischenfall ergab einen signifikanten Zusammenhang ($p<0,001$). In den gemischten Modellen waren die Simulatorstadien als Korrelat für die Arbeitsbelastung fixe Effekte und die Änderungen des Pupillendurchmessers zufällige Effekte.

Die Berechnung des konditionalen R^2 zeigte, dass die unabhängige Variable „Simulatorstadium“ als Parameter für den Verlauf der Narkoseeinleitungen mit Zwischenfall 92,6% der Varianz der Änderung des Pupillendurchmessers erklärte.

Die Differenz der mittleren Pupillendurchmesser war im zeitlichen Verlauf lediglich am Übergang von Stadium 4 („Milde Anaphylaxie“) zu Stadium 5 („Moderate Anaphylaxie“) signifikant ($p=0,027$) (Abb. 4.3). Das Maximum der Zunahme des mittleren Pupillendurchmessers um 14,6% lag im Stadium 6 („Schwere Anaphylaxie“).

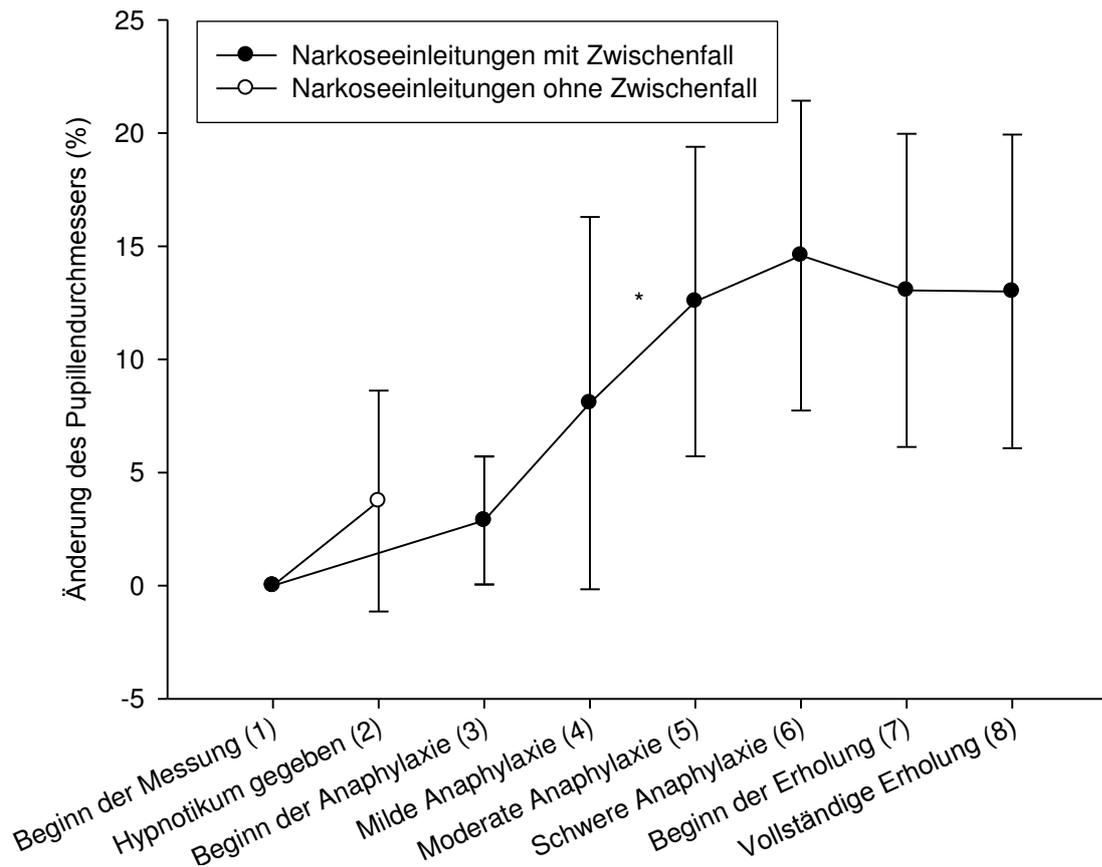


Abb. 4.3: Änderung des gewichteten mittleren Pupillendurchmessers ausgehend vom Simulatorstadium 1 in Abhängigkeit der Simulatorstadien mit 95%-Konfidenzintervall für die Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall. Signifikante Übergänge zwischen den Stadien sind gekennzeichnet (* $p < 0,05$). Für das Stadium 1 sind keine Konfidenzintervalle angegeben, da es sich um den Referenzwert für die anderen Stadien handelt. Stadium 2 der Narkoseeinleitungen mit Zwischenfall wurde nicht in die Auswertung eingeschlossen, da es nur 3 Sekunden dauerte.

4.3 Fixationsdauer

4.3.1 Vergleich zwischen den Narkoseeinleitungen II und III

Der Mittelwert der Fixationsdauer war für die Narkoseeinleitungen II 0,231 s und 0,265 s für die Narkoseeinleitungen III. Die Differenz von 0,034 s war nicht signifikant ($p = 0,062$; 95%-Konfidenzintervall $[-0,002; 0,069]$). Folglich ließen sich an der Fixationsdauer keine Effekte wiederholten Trainings nachweisen.

4.3.2 Vergleich zwischen den Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall

Der Mittelwert der Fixationsdauer war 0,278 s für die Narkoseeinleitungen mit Zwischenfall und 0,279 s für die Narkoseeinleitungen ohne Zwischenfall. Die Differenz von 0,001 s war nicht signifikant ($p=0,925$; 95%-Konfidenzintervall $[-0,029; 0,027]$).

Somit konnte kein signifikanter globaler Einfluss der Arbeitsbelastung auf die Fixationsdauer im Vergleich der Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall festgestellt werden.

4.3.3 Fixationsdauer und Simulatorstadien

Die Untersuchung des Einflusses der Arbeitsbelastung auf die abhängige Variable „Fixationsdauer“ mit gemischten Modellen innerhalb der Narkoseeinleitungen mit Zwischenfall ergab einen signifikanten Zusammenhang ($p<0,001$). In den gemischten Modellen waren die Simulatorstadien als Korrelat für die Arbeitsbelastung fixe Effekte und die Änderungen der Fixationsdauer zufällige Effekte.

Die Berechnung des konditionalen R^2 zeigte, dass die unabhängige Variable „Simulatorstadium“ als Parameter für den Verlauf der Narkoseeinleitung mit Zwischenfall 64,7% der Varianz der mittleren Fixationsdauer erklärte.

Die mittlere Fixationsdauer war im Stadium 3 („Beginn der Anaphylaxie“) mit 0,37 s am längsten. Bis zum Stadium 6 („Schwere Anaphylaxie“) ging sie bis auf 0,25 s zurück und stieg dann bis zu den Erholungsstadien 7 und 8 wieder auf 0,27 s an. Die Werte der Stadien 1 („Beginn der Messung“) mit 0,26 s und 6 („Schwere Anaphylaxie“) bzw. 8 („Vollständige Erholung“) mit je 0,25 s unterschieden sich nicht signifikant ($p\geq 0,13$).

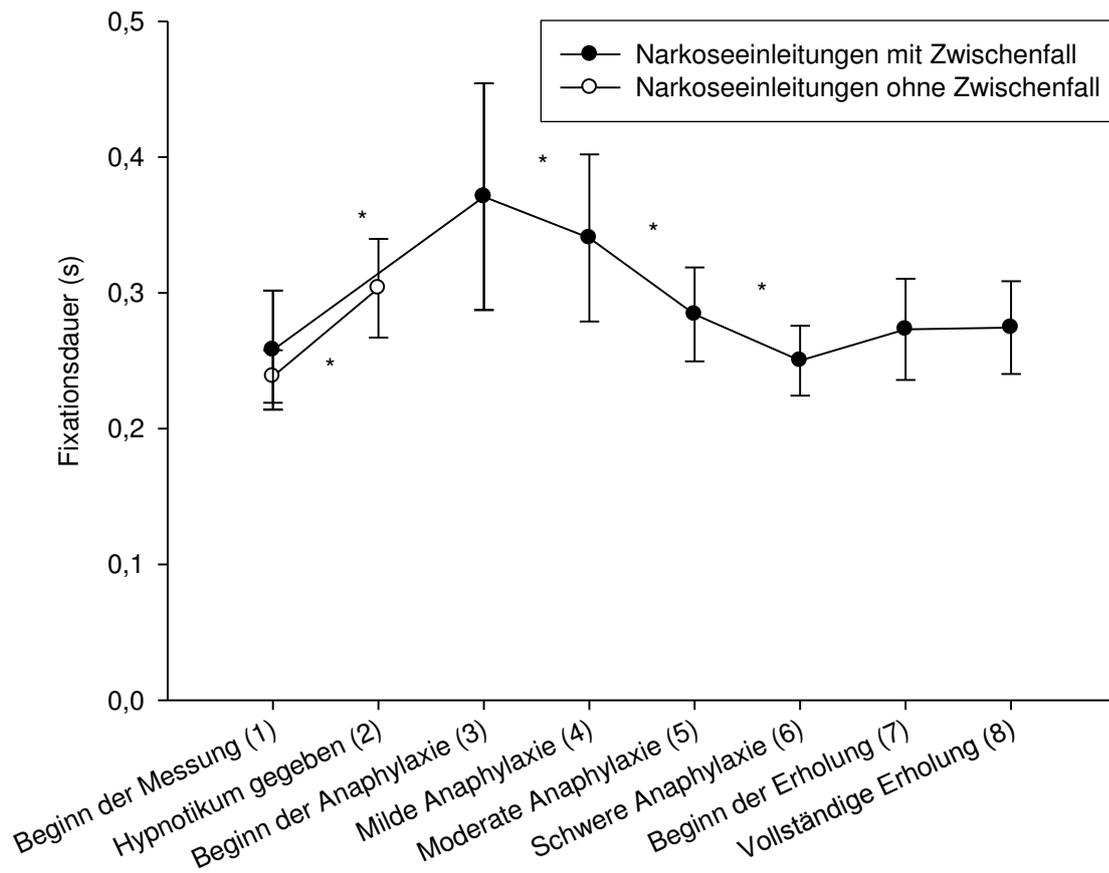


Abb. 4.4: Die mittlere Fixationsdauer in Abhängigkeit der Simulatorstadien mit 95%-Konfidenzintervall für die Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall. Signifikante Übergänge zwischen den Stadien sind gekennzeichnet (* $p < 0,05$).

4.4 Sakkadenamplitude

4.4.1 Vergleich zwischen den Narkoseeinleitungen II und III

Der gewichtete Mittelwert der Sakkadenamplitude war für die Narkoseeinleitungen II $10,1^\circ$ und $11,5^\circ$ für die Narkoseeinleitungen III. Die Differenz von $1,4^\circ$ war nicht signifikant ($p=0,362$; 95%-Konfidenzintervall $[-1,9; 4,9]$).

Folglich ließen sich an der Sakkadenamplitude keine Effekte wiederholten Trainings nachweisen.

4.4.2 Vergleich zwischen den Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall

Der gewichtete Mittelwert der Sakkadenamplitude war $12,2^\circ$ für die Narkoseeinleitungen mit Zwischenfall und $10,7^\circ$ während der Narkoseeinleitungen ohne Zwischenfall. Die Differenz von $1,5^\circ$ war nicht signifikant ($p=0,325$; 95%-Konfidenzintervall $[-1,7; 4,7]$).

Somit konnte kein signifikanter Einfluss der Arbeitsbelastung auf die Sakkadenamplitude im Vergleich der Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall festgestellt werden.

4.4.3 Sakkadenamplitude und Simulatorstadien

Die Analyse des Einflusses der Arbeitsbelastung auf die abhängige Variable „Sakkadenamplitude“ mit gemischten Modellen innerhalb der Narkoseeinleitungen mit Zwischenfall zeigte keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Sakkadenamplitude und der Schwere der Anaphylaxie ($p=0,09$).

Die mittleren Sakkadenamplituden unterschieden sich in beiden Narkoseeinleitungen, außer zwischen den beiden ersten Stadien ($p=0,03$), nicht signifikant voneinander ($p \geq 0,06$) (Abb. 4.5).

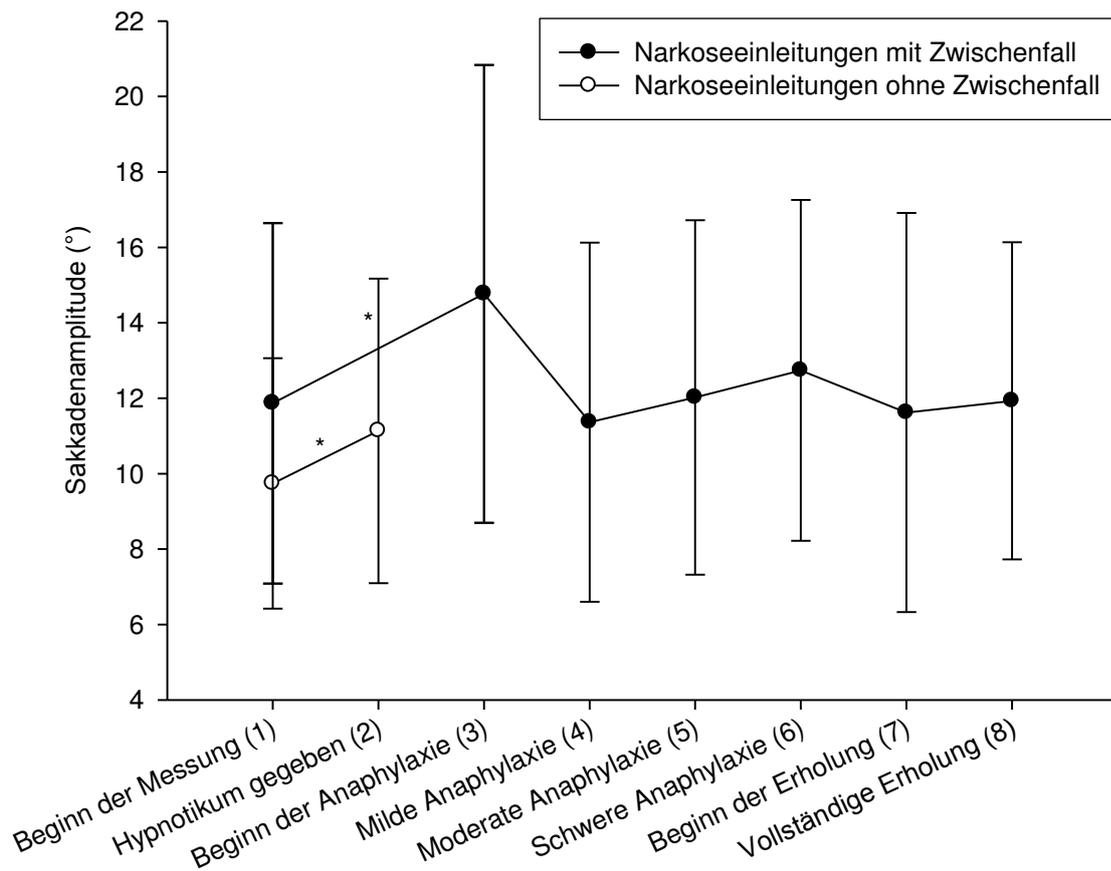


Abb. 4.5: Die Mittelwerte der gewichteten Sakkadenamplitude in Abhängigkeit der Simulatorstadien mit 95%-Konfidenzintervall für die Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall. Signifikante Übergänge zwischen den Stadien sind gekennzeichnet (* $p < 0,05$).

4.5 Herzfrequenz

Wie bereits erwähnt, wurden die Probanden 1 und 8 auf Grund von technischen Problemen bei der Herzfrequenzaufzeichnung nicht in die Auswertung der Herzfrequenz eingeschlossen.

4.5.1 Vergleich zwischen den Narkoseeinleitungen II und III

Der gewichtete Mittelwert der Herzfrequenz war für die Narkoseeinleitungen II $97,6 \text{ min}^{-1}$ und $93,1 \text{ min}^{-1}$ für die Narkoseeinleitungen III. Die Differenz von $4,5 \text{ min}^{-1}$ war nicht signifikant ($p=0,348$; 95%-Konfidenzintervall $[-13,3; 5,3]$).

Folglich ließen sich an der Herzfrequenz keine Effekte wiederholten Trainings nachweisen.

4.5.2 Vergleich zwischen den Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall

Der gewichtete Mittelwert der Herzfrequenz war $102,7 \text{ min}^{-1}$ für die Narkoseeinleitungen mit Zwischenfall und $95,2 \text{ min}^{-1}$ für die Narkoseeinleitungen ohne Zwischenfall. Die Differenz von $7,5 \text{ min}^{-1}$ war nicht signifikant ($p=0,115$; 95%-Konfidenzintervall $[-2,51; 19,08]$) (Tab. 4.8).

Somit konnte kein signifikanter globaler Einfluss der Arbeitsbelastung auf die Herzfrequenz im Vergleich der Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall festgestellt werden.

4.5.3 Herzfrequenz und Simulatorstadien

Die Analyse des Einflusses der Arbeitsbelastung auf die abhängige Variable „Herzfrequenz“ mit gemischten Modellen innerhalb der Narkoseeinleitungen mit Zwischenfall ergab einen signifikanten Zusammenhang ($p<0,001$).

Nach Berechnung des konditionalen R^2 erklärt der Effekt „Simulatorstadium“ 93,6% der Varianz des Verlaufs der abhängigen Variablen „Herzfrequenz“ in der Narkoseeinleitung mit Zwischenfall.

Der maximale Wert der mittleren gewichteten Herzfrequenz trat im Stadium 5 („moderate Anaphylaxie“) mit 111 min^{-1} auf. Der Wert von 108 min^{-1} im Stadium 6 („schwere Anaphylaxie“) unterschied sich davon nicht signifikant ($p=0,22$). In den Erholungsstadien kam es dann zu einem signifikanten Abfall bis auf 95 min^{-1} in Stadium 8 („vollständige Erholung“) ($p\leq 0,02$) (Abb. 4.6).

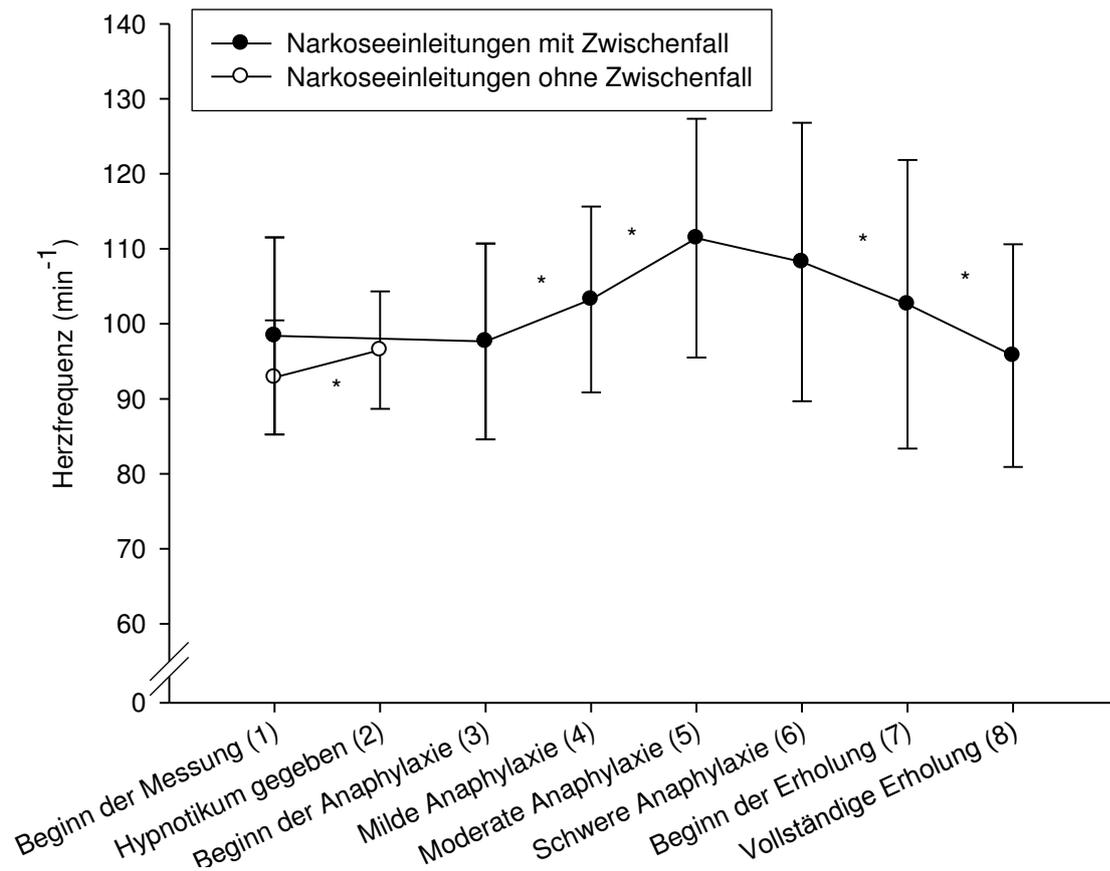


Abb. 4.6: Die Mittelwerte der gewichteten Herzfrequenz in Abhängigkeit der Simulatorstadien mit 95%-Konfidenzintervall für die Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall. Signifikante Übergänge zwischen den Stadien sind gekennzeichnet (* $p < 0,05$).

4.6 Subjektive Arbeitsbelastung

Der mittlere RPE-Wert für die Narkoseeinleitungen mit Zwischenfall war mit 13,0 („einigermaßen große Anstrengung“) signifikant höher als in den Narkoseeinleitungen ohne Zwischenfall mit 9,4 („sehr geringe Anstrengung“) ($p = 0,001$).

Für die RPE-Werte und die mittlere Herzfrequenz der Probanden im Stadium 6 („schwere Anaphylaxie“) der Narkoseeinleitungen mit Zwischenfall und im Stadium 2 („Hypnotikum gegeben“) der Narkoseeinleitungen ohne Zwischenfall wurde der Korrelationskoeffizient r berechnet.

In den genannten Simulatorstadien mit der maximalen Arbeitsbelastung korrelierten die RPE-Werte und die mittlere Herzfrequenz der Probanden signifikant. ($r = 0,37$; $p = 0,035$). Folgende Regressionsgleichung wurde berechnet:

$$\text{RPE-Wert} = 1,594 + 0,095 \cdot \text{Herzfrequenz}$$

Das Bestimmtheitsmaß R^2 hatte einen Wert von 0,309. Somit wurden von der Varianz des RPE-Wertes lediglich 30,9% durch die Herzfrequenz erklärt.

4.7 Evaluation der Studie

In der Evaluation mittels Fragebogen, der nach jeder Narkoseeinleitung von den Probanden ausgefüllt wurde, zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall ($p > 0,05$). Der Realitätsgrad der Simulationen wurde im Mittel als „realistisch“ eingestuft. Die Frage, ob die Kopfkamera die Arbeit des Anästhesisten beeinträchtigt habe, wurde im Durchschnitt mit „kaum“ beantwortet. Die Rolle des Pflegers (Simulationsteam) wurde im Mittel als „realistisch“ empfunden. Mit „eher nein“ wurde die Frage beantwortet, ob sich der Proband durch das Gefühl, genau beobachtet worden zu sein, gestresst gefühlt habe. Die mittlere Tagesverfassung war „gut“. Die körperliche Bewegungsfreiheit war durch die Kamera eher nicht („eher nein“) eingeschränkt. Die Ausführlichkeit der Simulatoreinführung wurde als „genau richtig“ bewertet. Die Patientenbehandlung war durch die Kopfkamera nicht („nein“) beeinträchtigt. Auf die offene Frage Nr. 9 zu möglichen Ursachen der in Frage Nr. 8 erfragten Beeinträchtigung der Patientenbehandlung durch die Kopfkamera antwortete ein kurzsichtiger Proband, dass sein Visus eingeschränkt gewesen sei, da das Tragen von Sehhilfe zusammen mit der Kopfkamera nicht möglich war.

5 Diskussion

5.1 Pupillendurchmesser

Innerhalb der Narkoseeinleitungen mit Zwischenfall trat im Verlauf der Simulatorstadien ab dem Beginn der Messung eine signifikante Zunahme der Pupillengröße auf. Diese Tatsache legt nahe, dass der Pupillendurchmesser ein geeigneter Parameter zur Erfassung von Arbeitsbelastung *innerhalb* einer Messung ist.

Der Pupillendurchmesser war während der Narkoseeinleitungen mit Zwischenfall nicht signifikant größer als während der Narkoseeinleitungen ohne Zwischenfall. Somit konnte *zwischen* den Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall kein signifikanter Einfluss der Arbeitsbelastung auf die Pupillengröße gezeigt werden. Ein Grund dafür könnte die Tatsache sein, dass es sich bei der Narkoseeinleitung per se im Verlauf einer Allgemeinanästhesie um eine Phase mit erhöhter Arbeitsbelastung handelt (Gaba et Lee 1990). Das Auftreten eines Zwischenfalls während einer Phase mit geringerer Arbeitsbelastung könnte dazu beitragen, den Einfluss der erhöhten Arbeitsbelastung auf die gemessenen Parameter während eines Zwischenfalls deutlicher darzustellen. Ein mögliches Simulationsszenario für zukünftige Simulationsstudien ist eine anaphylaktische Reaktion während der Aufrechterhaltung einer Narkose (vgl. Byrne et al. 1998; Davis et al. 2009).

Die individuelle Pupillengröße variiert von Mensch zu Mensch und steht unter dem Einfluss externer und interner Stimuli, wie z.B. der Intensität des Lichteinfalls, psychotroper Substanzen (v.a. Coffein), der Tageszeit und des vegetativen Nervensystems (Schmidt et al. 2005). Die Intensität des Lichteinfalls auf die Pupillen der Probanden während der Narkoseeinleitungen wurde nicht erfasst. Es kann somit nicht ausgeschlossen werden, dass die Beleuchtungsstärke im Simulationsraum innerhalb und zwischen den einzelnen Narkoseeinleitungen variierte, da der Simulationsraum zwar während allen Versuchen von innen gleich beleuchtet wurde, aber nach außen nur unvollständig verdunkelt werden konnte. Hierdurch wurde der gemessene Einfluss der erhöhten Arbeitsbelastung auf den Pupillendurchmesser möglicherweise abgeschwächt.

Für zukünftige Studien sollte deshalb eine technische Lösung entwickelt werden, die Beleuchtungsstärke in der Nähe der Augen des Probanden zu erfassen. Denkbar wäre die Integration eines Luxmeters in das verwendete Blickbewegungsregistrierungssystem (Schneider et al. 2009) oder das Auslesen der Blendeneinstellung der Szenenkamera.

Mit der Erfassung der Beleuchtungsstärke könnte eventuell mittels eines Korrekturfaktors die Aussagekraft der Pupillengröße hinsichtlich der Arbeitsbelastung noch gesteigert werden.

Möglicherweise waren die Einflüsse externer Stimuli auf die Pupillengröße zu groß und die Fallzahl der vorliegenden Studie zu gering, um eine möglicherweise tatsächlich vorhandene signifikante Zunahme des Pupillendurchmessers unter erhöhter Arbeitsbelastung nachzuweisen. Die Nullhypothese, dass der Pupillendurchmesser unter erhöhter Arbeitsbelastung zunimmt, könnte somit zu Unrecht abgelehnt worden sein und damit ein Fehler 1. Art vorliegen. Zukünftige Studien könnten dieses Problem mit größeren Fallzahlen und dem genannten Korrekturfaktor für die Umgebungsbeleuchtungsstärke umgehen.

Bei der Analyse mit gemischten Modellen zeigte sich ein hoch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Pupillendurchmesser und dem Verlauf der Simulatorstadien. Der Vorteil der Analyse mit gemischten Modellen war, dass dabei alle verfügbaren Probandenparameter während der einzelnen Simulatorstadien gleichzeitig mit einbezogen wurden. Diese Analyse zeigte eine gute Korrelation der Pupillengröße mit der Arbeitsbelastung, die in Form der zunehmenden Ausprägung der Anaphylaxie mit in das Modell einfluss, wenn gleichzeitig potentielle Bias, wie z.B. die initiale Pupillengröße, herausgerechnet wurden.

In der Literatur finden sich vergleichbare Ergebnisse. Simpson und Hale konnten zeigen, dass bei Aufgaben, die eine einfache Entscheidung erforderten, in der Interventionsgruppe eine größere Pupillendilatation auftrat als in der Kontrollgruppe, die ähnliche Aufgaben löste ohne eine Entscheidung treffen zu müssen (n=14) (Simpson et Hale 1969).

Van Orden et al. untersuchten die Arbeitsbelastung von 11 Probanden während einer Flugabwehrsimulation. Die Probanden sollten auf einem Bildschirm unterschiedliche Flugobjekte, die sich auf zwei in der Bildschirmmitte platzierte Schiff-Piktogramme

zubewegten, als „Freund“ oder „Feind“ klassifizieren und diese abschießen bzw. passieren lassen. Eine Zunahme der Arbeitsbelastung wurde durch die Erhöhung der Dichte der herannahenden Flugobjekte erreicht. Es konnte eine lineare Zunahme des mittleren relativen Pupillendurchmessers mit erhöhter Arbeitsbelastung nachgewiesen werden (van Orden et al. 2001).

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung bestätigen die anfängliche Hypothese, dass der Pupillendurchmesser unter gesteigerter Arbeitsbelastung zunimmt.

5.2 Fixationsdauer

Für die mittlere Fixationsdauer zeigte sich eine signifikante Abnahme mit zunehmender Schwere der Anaphylaxie. Von Stadium 1 („Beginn der Messung“) auf Stadium 2 war eine signifikante Zunahme der Fixationsdauer zu beobachten. Eine mögliche Ursache für die relativ lange mittlere Fixationsdauer im Stadium 3 („Beginn der Anaphylaxie“) könnte in der endotrachealen Intubation liegen. Hier muss zunächst die Stimmritze des Patienten mit Hilfe eines Laryngoskops dargestellt werden. Anschließend wird der Tubus durch die Stimmritze geführt und auf dessen korrekte Platzierung geachtet. In dieser Zeit ist der Blick trotz unterschiedlicher manueller Tätigkeiten üblicherweise alleine auf die Stimmritze fixiert.

Rivecourt et al. beobachteten bei 19 Piloten in einem Flugsimulator eine signifikante Abnahme ($p < 0,001$) der mittleren Fixationsdauer mit zunehmender Komplexität der Flugmanöver (de Rivecourt et al. 2008). Auch Svensson und Wilson fanden bei 15 Kampfpiloten eine Abnahme der mittleren Fixationsdauer unter gesteigerter Komplexität simulierter Missionen (Svensson et Wilson 2002). In zwei Studien von Callan und Tole et al. an 8 bzw. 6 Piloten, die sekundäre kognitive Aufgaben während simulierter Flüge lösten (z.B. verbale Zahlenkategorisierungen), wurde hingegen ein Anstieg der mittleren Fixationsdauer beobachtet (Callan 1998), (Tole et al. 1982). Van Orden et al. konnten in der bereits genannten Untersuchung während einer Flugabwehrsimulation keine signifikante Änderung der mittleren Fixationsdauer unter erhöhter Arbeitsbelastung feststellen (van Orden et al. 2001).

Es ist anzunehmen, dass neben der Arbeitsbelastung auch andere Variablen, wie z.B. die Art der durchgeführten Tätigkeit - als primäre (de Rivecourt et al. 2008), (Svensson et Wilson 2002), oder sekundäre (Callan 1998), (Tole et al. 1982) kognitive Aufgabe - Einfluss auf die Fixationsdauer hatten. Diese wirkten sich in den genannten Untersuchungen unterschiedlich aus.

Auch in der vorliegenden Untersuchung unterschieden sich die durchgeführten Tätigkeiten. Eine in dieser Arbeit nicht weiter angeführte Analyse der visuellen Aufmerksamkeitsverteilung der Probanden zeigte, dass sich der Anteil der visuellen Aufmerksamkeit auf den Patientenmonitor während der Anaphylaxie von zuvor 20% auf 30% erhöhte. Die manuellen Tätigkeiten nahmen bei den erfahrenen Anästhesisten (>2 Jahre Berufserfahrung) während des Zwischenfalls von 21% auf 25% zu, wohingegen bei unerfahrenen Anästhesisten (<2 Jahre Berufserfahrung) der Anteil von 20% auf 14% abnahm (Schulz et al. 2011).

Des Weiteren konnten Rivecourt et al. in ihrer Studie zeigen, ähnlich wie bei der endotrachealen Intubation in der eigenen Studie, dass die mittlere Fixationsdauer während der Änderung der Fluglage unter Zuhilfenahme eines künstlichen Horizonts, der dabei für einige Sekunden fixiert werden muss, *ansteigt* (de Rivecourt et al. 2008).

Obwohl in der eigenen Untersuchung nach Berechnung mittels gemischter Modelle rund 65% der Varianz der Fixationsdauer durch die Simulatorstadien erklärt wurden und obwohl die Fixationsdauer im Verlauf der Anaphylaxie - wie zu Beginn angenommen - abnahm, muss die Aussagekraft dieser Variable bezüglich der Arbeitsbelastung aufgrund zahlreicher in Frage kommender weiterer Einflussfaktoren (z.B. manuelle Tätigkeiten, Sammeln von visuellen Informationen und deren räumliche Anordnung) mit Vorsicht interpretiert werden. Wahrscheinlich haben diese Faktoren einen größeren Einfluss auf die Fixationsdauer als die Arbeitsbelastung.

5.3 Sakkadenamplitude

Für die Sakkadenamplitude ließ sich keine signifikante Korrelation mit dem Verlauf der Anaphylaxie und somit der Arbeitsbelastung nachweisen.

Auch hier finden sich widersprüchliche Ergebnisse in der Literatur. Hankins und Wilson konnten bei 15 Piloten während eines definierten Flugmanövers eine signifikant erhöhte Amplitude der horizontalen Augenbewegungen bei Start und Landung nachweisen (Hankins et Wilson 1998).

May et al. sahen in verschiedenen Experimenten, bei denen bis zu 10 Probanden steigender Arbeitsbelastung durch Zählen unterschiedlicher akustischer und optischer Signale ausgesetzt waren, einen signifikanten Abfall der Sakkadenamplitude (May et al. 1990).

Van Orden et al. fanden in der bereits genannten Studie bei vermehrter Arbeitsbelastung ebenfalls eine Abnahme der mittleren Sakkadenamplitude, die jedoch nur im Bereich sehr hoher Arbeitsbelastung signifikant war (van Orden et al. 2001).

Rantanen und Goldberg konnten eine ungleichmäßige Verkleinerung des Gesichtsfeldes um bis zu 14% unter einer erhöhten Arbeitsbelastung nachweisen (Rantanen et Goldberg 1999). Das Gesichtsfeld beschreibt die Gesamtheit der visuellen Wahrnehmung mit dem *unbewegten* Auge. Dagegen versteht man unter dem Blickfeld die Gesamtheit der visuellen Wahrnehmung mit dem *bewegten* Auge (Schmidt et al. 2005). Wenn die Sakkadenamplitude unter erhöhter Arbeitsbelastung tatsächlich abnehmen würde, würde dies auch eine Verkleinerung des Blickfeldes bedeuten. Der von Rantanen und Goldberg am unbewegten Auge beschriebene Tunnel-Effekt, der dort durch eine deutliche Abnahme des Öffnungswinkels des Blick-Kegels zustande kommt, könnte am bewegten Auge und mobilen Probanden zusätzlich durch eine Abnahme der Sakkadenamplitude mit einer Verkleinerung des Blickfeldes verstärkt werden (Rantanen et Goldberg 1999; van Orden et al. 2001).

Den Untersuchungen von Van Orden et al. (van Orden et al. 2001), May et al. (May et al. 1990), Hankins und Wilson (Hankins et Wilson 1998) und Rantanen und Goldberg (Rantanen et Goldberg 1999) ist gemeinsam, dass sie an sitzenden Probanden durchgeführt wurden, die ihre Köpfe auf Grund der Messgeräte nicht frei bewegen konnten. In der vorliegenden Studie dagegen waren die Probanden in ihrer Beweglichkeit nicht eingeschränkt. Bei uneingeschränkter Bewegungsfreiheit des Körpers und des Kopfes entstehen beachtliche kompensatorische und reflektorische Augenbewegungen durch vestibulookuläre und optokinetische Reflexe. Diese

Reflexe erzeugen einen Nystagmus, der aus einer Abfolge von schnellen Sakkaden und langsamen kompensatorischen Augenbewegungen besteht (Leigh et Zee 1999). Der automatische Sakkadendetektionsalgorithmus konnte nicht zwischen schnellen Phasen der reflexiven Augenbewegungen und gewollten, aufgabengebundenen Sakkaden unterscheiden. Dieser Umstand erschwert die Interpretation der Ergebnisse der Sakkadenamplitude zusätzlich. Die Schlussfolgerung von May et al. (May et al. 1990), dass die Sakkadenamplitude ein nützliches Maß für die mentale Arbeitsbelastung sei, trifft somit für die vorliegenden Untersuchungsbedingungen nicht zu.

5.4 Herzfrequenz

Der Verlauf der Herzfrequenz zeigte analog zur Pupillengröße eine signifikante Korrelation mit den Simulatorstadien als Maß für die Arbeitsbelastung der Probanden. Unter Berücksichtigung individueller Zufallsschwankungen ist der Effekt der Simulatorstadien auf die abhängige Variable „Herzfrequenz“ sogar etwas größer als auf die abhängige Variable „Pupillendurchmesser“ ($R^2=93,6\%$ vs. $R^2=92,6\%$).

Die mittleren Herzfrequenzen zu Beginn der Simulationen waren mit 99 min^{-1} und 93 min^{-1} in den Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall recht hoch, obwohl die Probanden augenscheinlich noch keiner großen Arbeitsbelastung ausgesetzt waren. In einer Kohortenstudie an 38 Anästhesisten wurde während 203 realer Narkosen durchschnittliche Herzfrequenzen von $80 (\pm 12)$ bis $84 (\pm 11) \text{ min}^{-1}$ gemessen, die signifikant größer waren als die morgendlich gemessenen Ausgangswerte (Kain et al. 2002). Da Patientensimulatoren in der Anästhesie üblicherweise dazu verwendet werden, Narkosezwischenfälle zu trainieren, ist es naheliegend, dass die Probanden an einem Simulator einen Zwischenfall erwarten und deshalb eventuell schon vor dem Auftreten eines Zwischenfalls aufgeregt waren. Dyer und Byrne zeigten dies anhand des Verlaufs der Herzfrequenz eines Assistenzarztes, sowohl während eines realen als auch mehrerer simulierter Zwischenfälle an einem Simulator (Dyer et Byrne 2002). Dabei zeigte sich im realen Zwischenfall ein klares Maximum der Herzfrequenz. In den simulierten Zwischenfällen erzeugte der Proband bei in Relation zum realen Zwischenfall erhöhten Ausgangswerten jedoch kein klares Maximum (Dyer et Byrne 2002). In der

vorliegenden Studie entwickelte sich die Herzfrequenz der neun untersuchten Probanden im Verlauf der zunehmenden Arbeitsbelastung zu einem klaren Maximum. Dies widerspricht der Schlussfolgerung aus der Einzelfallstudie von Dyer und Byrne, dass die Herzfrequenz wahrscheinlich kein nützliches Maß für die Messung von Arbeitsbelastung während simulierter Narkosen sei.

Weinger et al. zeigten anhand von 24 Anästhesisten, dass die Herzfrequenz während der Intubation und zehn Minuten später signifikant höher war als während der Aufrechterhaltungsphase (Weinger et al. 2004).

Die eigenen Ergebnisse stehen auch in Einklang mit früheren Untersuchungen in der Luftfahrt. Jorna beobachtete in seiner Arbeit über Herzfrequenz und Arbeitsbelastung in realen und simulierten Flügen, dass die Herzfrequenz von 13 Piloten während eines standardisierten Fluges signifikant höher war, wenn diesen gleichzeitig sekundäre kognitive Aufgaben gestellt wurden (Jorna 1993).

Sowohl für Starts und Landungen als auch für zunehmende Komplexität von Flugmanövern konnte eine Zunahme der Herzfrequenz nachgewiesen werden (Hankins et Wilson 1998; de Rivecourt et al. 2008).

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen die anfängliche Hypothese, dass die Herzfrequenz unter gesteigerter Arbeitsbelastung zunimmt. Um nachzuweisen, dass auch der über den Gesamtverlauf eines Szenarios gebildete Mittelwert der Herzfrequenz geeignet ist, erhöhte Arbeitsbelastung zu erfassen, ist in zukünftigen Studien auch hier eine größere Fallzahl nötig.

Studie	Fallzahl	Pupillengröße	Fixationsdauer	Sakkdenamplitude	Herzfrequenz
Callan	8	–	↑ ^{**}	–	–
Hankins et Wilson	15	–	–	↑ [*]	↑ [*]
Jorna	13	–	–	–	↑ [*]
May et al.	5 - 10	–	–	↓ [*]	–
Rivecourt et al.	19	–	↓ [*]	–	↑ [*]
Simpson et al.	14	↑ [*]	–	–	–
Svenson et Wilson	15	–	↓ ^{**}	–	–
Tole et al.	6	–	↑ ^{**}	–	–
Van Orden et al.	11	↑ [*]	↔	↓	–
eigene	11	↑ [*]	↓ [*]	↑↓	↑ [*]

Tab. 5.1: Synopsis der Änderungen der genannten physiologischen Parameter unter erhöhter Arbeitsbelastung in der Literatur und der eigenen Untersuchung (* $p < 0,05$; ** Signifikanzen nicht angegeben).

5.5 Bewertung der subjektiven Arbeitsbelastung

Die subjektive Arbeitsbelastung wurde auf der Borg-Skala im direkten Anschluss an die Narkoseeinleitungen einmalig erfasst und war während der Narkoseeinleitungen mit Zwischenfall signifikant größer als während der Narkoseeinleitungen ohne Zwischenfall.

Damit scheint die Borg-Skala auch in der Simulatorumgebung ein valides Maß für die subjektive Arbeitsbelastung zu sein. Bisher kam diese Skala nur in realen Arbeitsumgebungen in der Anästhesie zum Einsatz.

So verglichen Weinger et al. im Jahr 1997 die subjektive Arbeitsbelastung vor und nach der Intubation während 20 Narkosen in der Kardioanästhesie, die von 9 Anästhesisten im zweiten und dritten Weiterbildungsjahr durchgeführt wurden. Nach der Platzierung eines Pulmonalkatheters lag der durchschnittliche RPE-Wert bei

15,5 bis zur Intubation und nach der Intubation bis zum Anschluss an die Herz-Lungen-Maschine lag dieser bei 11,0 (Weinger et al. 1997).

In einer Studie aus dem Jahr 2004 verglichen Weinger et al. die subjektive Arbeitsbelastung von 24 Anästhesisten mit einer mittleren Berufserfahrung von 6 Jahren (0,3 bis 24 Jahre) während Narkosen. Die eine Hälfte (mittlere Berufserfahrung 4,4 [0,3 bis 18] Jahre) unterrichtete dabei gleichzeitig Studenten oder Berufsanfänger, die andere Hälfte (mittlere Berufserfahrung 8,8 [0,3 bis 24] Jahre) führten Narkosen ohne die Anwesenheit von Studenten durch. Während der Einleitungsphase waren die RPE-Werte in der Unterrichtsgruppe signifikant kleiner. In den anderen Narkosephasen unterschieden sich die RPE-Werte beider Gruppen nicht signifikant. Die Autoren vermuteten, dass während der Einleitungsphase in der Unterrichtsgruppe kognitive Aufgaben gegenüber manuellen Aufgaben unterbewertet wurden und es dadurch zu einer Verzerrung dieser Ergebnisse kam.

Sowohl mit Unterricht als auch ohne Unterricht waren die RPE-Werte während der Einleitungs- (10,1 / 11,3) /und Ausleitungsphase (10,8 / 11,1) signifikant größer als während der Aufrechterhaltung (8,5 / 8,8) der Narkose (Weinger et al. 2004).

Cao et al. untersuchten die Arbeitsbelastung von 13 Anästhesisten während jeweils einer Narkose in einer Tages- und einer Nachtschicht. Die durchschnittlichen RPE-Werte lagen tagsüber bei 12,1 (Narkoseeinleitung), 9,8 (Narkoseaufrechterhaltung) und 12,2 (Narkoseausleitung). Der Unterschied zu den nächtlichen Narkosen war nicht signifikant (Cao et al. 2008).

In ihrer Studie über das intraoperative Leseverhalten von Anästhesisten erhoben Slagle und Weinger in 172 Allgemeinanästhesien mittlere RPE-Werte zwischen 7,9 (während des Lesens) und 9,0 (während Narkosen, in denen nicht gelesen wurde). Die Unterschiede zwischen den Lese- und den Nicht-Lese-Phasen waren signifikant. Da hier nicht zwischen den einzelnen Narkosephasen unterschieden wurde, ist ein direkter Vergleich mit den eigenen Ergebnissen (Narkoseeinleitung) nur bedingt möglich.

Tabelle 5.2 zeigt die Ergebnisse der Bewertung der subjektiven Arbeitsbelastung in den genannten Studien. Die RPE-Werte in den realen Narkoseeinleitungen liegen bei

vergleichbaren Fallzahlen deutlich über dem Wert für die Narkoseeinleitung ohne Zwischenfall am Simulator. Somit scheint die subjektive Arbeitsbelastung bei der Narkoseeinleitung an einem Simulationspatienten niedriger zu sein als an realen Patienten.

Es müssen jedoch methodische Unterschiede bei der Erfassung der RPE-Werte berücksichtigt werden. In den genannten Studien (Cao et al. 2008; Slagle et Weinger 2009; Weinger et al. 1997; Weinger et al. 2004) wurde der RPE-Wert während einer vollständigen Narkose regelmäßig alle 7 bis 15 Minuten von einem anwesenden Beobachter abgefragt und später Mittelwerte für die unterschiedlichen Phasen berechnet. In den Studien von Weinger 2004 (Weinger et al. 2004) und Cao (Cao et al. 2008) wurde den Probanden ein RPE-Wert von 12 als Richtwert für die Intubation genannt. Um die Probanden in der vorliegenden Studie möglichst wenig zu beeinflussen, gaben sie *im Anschluss* an die Narkoseeinleitung ohne die vorherige Nennung eines Referenzwertes *einen* RPE-Wert *schriftlich* an.

Studie	RPE	Fallzahl	Anmerkung
Weinger et al. 1997	15,5	20*	Kardioanästhesie vor der Intubation
Weinger et al. 2004	11,3	12	Narkoseeinleitungen ohne Unterricht
Cao et al. 2008	12,1	13	Narkoseeinleitungen tagsüber
Slagle et Weinger 2009	9	172	alle Narkosephasen; ohne Lesen
eigene Ergebnisse	9,4	11	simulierte Narkoseeinleitungen

Tab. 5.2: Vergleich ausgewählter mittlerer RPE-Werte während Narkoseeinleitungen in verschiedenen Studien. Bei den eigenen Ergebnissen ist der RPE-Wert für die Narkoseeinleitungen ohne Zwischenfall angegeben (* = an der Studie nahmen 9 Probanden teil, die z.T. mehrfach Narkosen durchführten).

Die Korrelationsanalyse ergab eine signifikante Korrelation der RPE-Werte (6-20) mit der Herzfrequenz (60-200 min⁻¹) in den Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall ($r=0,37$; $p=0,035$). Lediglich das Bestimmtheitsmaß ($R^2=0,309$), wonach nur 30,9% der Varianz des RPE-Wertes durch die Herzfrequenz erklärt werden konnten, limitierte den Wert der Borg-Skala als Surrogat der Herzfrequenz und umgekehrt.

In der Literatur werden für die RPE-Werte und die Herzfrequenz Korrelationskoeffizienten von 0,8 bis 0,9 angegeben (Borg 1982). Diese Angaben basieren auf physischen Anstrengungen, wie zum Beispiel auf einem Fahrradergometer mit unterschiedlichen Belastungsstufen. Untersuchungen, die nur einzelne Belastungsstufen berücksichtigten, zeigten niedrigere Korrelationskoeffizienten von 0,4 (Borg 1962a,1962b; Mihevic 1981). Der in der vorliegenden Untersuchung gefundene Korrelationskoeffizient von 0,37 stimmt mit diesen nahezu überein, obwohl hier mentale Anstrengungen im Vordergrund standen.

Zur Erfassung der subjektiven Arbeitsbelastung wurde in dieser Studie die Borg-Skala gewählt, da sie einfach anzuwenden ist und die Bewertung nur kurze Zeit dauert (Borg 1970). Darüber hinaus wurde sie bereits in mehreren anästhesiologischen Studien eingesetzt. Ein Nachteil dieses eindimensionalen Ansatzes ist allerdings, dass verschiedene Aspekte der Arbeitsbelastung, wie zum Beispiel kognitive oder manuelle Anforderungen, nicht unterschieden werden können. In dieser Hinsicht bietet der NASA Task Load Index (NASA TLX) (Wickens et Hollands 1992) Vorteile, wenn zusätzlich die Qualität der Arbeitsbelastung untersucht werden soll, da er sechs Dimensionen von Arbeitsbelastung unterscheidet.

In anderen Studien im anästhesiologischen Umfeld wurde der NASA TLX bereits eingesetzt (Byrne et al. 2010; Charabati et al. 2009; Weinger et al. 2004; Young et al. 2008).

5.6 Praktikabilität des Blickbewegungsregistrierungssystems

Das am Kopf getragene Blickbewegungsregistrierungssystem störte die Probanden während ihrer Arbeit kaum, insbesondere nicht bei der Patientenbehandlung. Somit erscheint das verwendete Blickbewegungsregistrierungssystem auch im realen Operationsumfeld ohne Beeinträchtigung der Patientensicherheit einsetzbar zu sein, um kontinuierlich Augenbewegungsparameter erfassen zu können.

Über die Praktikabilität anderer, in der Anästhesie zur Erfassung von Arbeitsbelastung, verwendeter Methoden, z.B. mit sekundären Aufgaben, finden sich in der Literatur keine systematischen Angaben. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Beeinträchtigung der Probanden noch geringer ist als beim

Blickbewegungsregistrierungssystem, da höchstens ein kleines Vibrationsgerät am Unterarm der Probanden angebracht wurde (Byrne et al. 2010; Byrne et al. 2013; Davis et al. 2009) oder auf ein Blinklicht geachtet werden sollte (Weinger et al. 1994), (Slagle et Weinger 2009), (Cao et al. 2008).

Die Notwendigkeit einer manuellen Bestätigung des Vibrations- bzw. Blinklichtsignals limitiert die Aussagekraft während anderer manueller Tätigkeiten, die insbesondere während Phasen mit erhöhter Arbeitsbelastung, wie z.B. in der Narkoseeinleitungs- und -ausleitungsphase und bei Notfällen (z.B. kardiopulmonalen Reanimationen) notwendig sind. Darüber hinaus kann die Überladung des Anästhesisten mit sekundären Aufgaben potentiell eine suboptimale Narkoseführung begünstigen. Deshalb ist eine Priorisierung der Patientenversorgung (primäre Aufgabe) gegenüber der subsidiären sekundären Aufgaben eine Grundvoraussetzung um Patienten nicht zu gefährden (Gaba et Lee 1990; Megaw 2010). In dieser Hinsicht scheint das Blickbewegungsregistrierungssystem auch durch seine Unabhängigkeit von der Mitarbeit der Probanden, insbesondere in Phasen mit höherer Arbeitsbelastung, besser in der Lage zu sein diese zu messen.

5.7 Studiendesign

Um die mentale Arbeitsbelastung der Probanden zu erhöhen, wurde während einer Narkoseeinleitung ein anaphylaktischer Schock simuliert. Dieser trat entweder in Narkoseeinleitung II oder III auf (Crossover-Design).

Ein anaphylaktischer Schock mit dessen kardiovaskulären und respiratorischen Symptomen konnte am verwendeten Patientensimulatorsystem realitätsnah und in allen Narkoseeinleitungen mit Zwischenfall vergleichbar simuliert werden und wurde von allen Probanden erkannt. Dennoch war die standardisierte Simulation einer Anaphylaxie im Vergleich zu einer realen Anaphylaxie mit diagnostischen und therapeutische Einschränkungen verbunden. Auf ein Erythem konnte der anwesende Pfleger lediglich verbal hinweisen, nachdem er am Übergang von Stadium 4 („Milde Anaphylaxie“) zu Stadium 5 („Moderate Anaphylaxie“) über einen Funkkopfhörer dazu aufgefordert wurde. Therapeutisch konnte lediglich die intravenöse Gabe von Adrenalin als Mittel der Wahl bei einem anaphylaktischen Schock einen Übergang in das Stadium 7 („Beginn der Erholung“) bewirken. Andere Substanzen wie Glukokortikoide, Histaminrezeptorantagonisten oder Infusionslösungen hatten

genauso wie Lagerungsmaßnahmen (Trendelenburg-Lagerung) keinen Einfluss auf den Verlauf der Simulatorstadien.

Möglicherweise war die Arbeitsbelastung der Probanden insgesamt auf Grund der fehlenden generalisierten kutanen Symptome einer Anaphylaxie geringer als sie bei einer realen Anaphylaxie gewesen wäre.

Diese objektiven Einschränkungen des Realitätsgrades spiegeln sich im Ergebnis der Evaluation kaum wider, da das Szenario dennoch als realistisch wahrgenommen wurde. Sowohl die Narkoseeinleitung ohne Zwischenfall als auch die Narkoseeinleitung mit Zwischenfall wurden im Mittel als „realistisch“ bewertet. Lediglich ein Proband bewertete die Narkoseeinleitung mit Zwischenfall als „unrealistisch“.

Um eine statistische Verzerrung (Bias) durch die Untersucher im Vorfeld zu minimieren, wurde die Software des Patientensimulators HPS[®] so programmiert, dass nach dem Start der Simulation kein Eingreifen der Untersucher in den Verlauf der Szenarien nötig war. Dennoch waren in diesem Studiendesign statistische Verzerrungen denkbar, da eine Randomisierung lediglich vor der zweiten Narkoseeinleitung stattfand und damit vor dem dritten Szenario feststand, ob ein Zwischenfall auftreten würde oder nicht. Um die Probanden bestmöglich an den Simulator zu gewöhnen, erhielten diese die Information, dass bei der ersten Narkoseeinleitung kein Zwischenfall auftreten würde. Diese Information implizierte möglicherweise, dass in der zweiten und / oder dritten Narkoseeinleitung ein Zwischenfall auftreten könnte. Somit wurde die Gewöhnung an den Simulator eventuell mit einer erhöhten Erwartungshaltung für einen Zwischenfall in der zweiten und - noch mehr - in der dritten Narkoseeinleitung erkaufte.

In zukünftigen Studien könnte auf diese Information an die Probanden verzichtet werden, da eine gewisse Gewöhnung an den Simulator in der ersten Narkoseeinleitung dennoch auftreten sollte. Generell ist die Erwartung eines Zwischenfalls an einem Anästhesiesimulator berechtigt, da hier typischerweise die Handhabung von Zwischenfällen trainiert wird. Die Durchführung zukünftiger Studien in einem realen Operationssaal würde diese Erwartungshaltung herabsetzen. Die sehr geringe Inzidenz von Zwischenfällen im realen Operationsumfeld würde allerdings auch eine wesentlich höhere Fallzahl erfordern.

Auch wenn die Probanden gebeten wurden, sich nicht untereinander über die Inhalte der Szenarien auszutauschen, ist nicht auszuschließen, dass hier ungewollte Übertragungseffekte zwischen den Probanden auftraten. Auch unbewusste Übertragungseffekte von den Untersuchern vor den Narkoseeinleitungen und dem Pfleger während der Narkoseeinleitungen könnten zu statistischen Verzerrungen beigetragen haben, da eine Verblindung aus praktischen Gründen nicht möglich war.

5.8 Ausblick

Mit der mobilen Blickbewegungsregistrierung können Pupillendurchmesser, Fixationsdauer und Sakkadenamplitude kontinuierlich und ohne relevante Bewegungseinschränkungen erfasst werden. Für den Pupillendurchmesser konnte hier der stärkste Zusammenhang mit der objektiven Arbeitsbelastung gezeigt werden. Die Fixationsdauer und die Sakkadenamplitude schienen vermehrt unter dem Einfluss anderer Faktoren gestanden zu sein, so dass ein Zusammenhang mit der Arbeitsbelastung weniger klar zu sehen war. Dennoch bietet die mobile Blickbewegungsregistrierung einen praktikablen Ansatz zur kontinuierlichen Erfassung der Arbeitsbelastung von Anästhesisten bei der Durchführung von Allgemeinanästhesien. Damit könnte sie einen Beitrag zur Erhöhung der Patientensicherheit leisten:

- indirekt durch Vergleiche verschiedener Narkosegeräte, Monitorsysteme und sonstiger materieller Faktoren,
- direkt durch eine Überwachung des Anästhesisten bei der Durchführung von Narkosen, um zum Beispiel Übermüdung oder Überforderung frühzeitig detektieren zu können und deren Folgen wie Fehler und menschliches Versagen zu verhindern.

Ob Sakkadenamplitude und Fixationsdauer hauptsächlich durch die Arbeitsbelastung oder doch eher mit der Art der durchzuführenden Aufgaben und der damit zusammenhängenden Beeinflussung des Blickverhaltens zusammenhängen, könnte Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein. Im Hinblick auf die Pupillengröße könnte ein Korrekturfaktor für den externen Lichteinfall die Aussagekraft erhöhen. Der externe Lichteinfall könnte z.B. durch das Auslesen der Blendeneinstellung der Szenenkamera zeitabhängig quantifiziert werden. Dass die Probanden das

Messsystem als wenig störend empfanden, ermutigt dazu, auch Studien in einer realen Arbeitsumgebung durchzuführen.

6 Zusammenfassung

Die vorliegende Studie untersuchte im Crossover-Design, ob Blickbewegungsregistrierung, Herzfrequenzmessung und subjektive Einschätzung auf der Borg-Skala geeignet sind, die Arbeitsbelastung von Anästhesisten und Anästhesistinnen während simulierter Narkosezwischenfälle zu erfassen.

Dazu führten 15 Anästhesisten und Anästhesistinnen an jeweils unterschiedlichen Tagen Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall an einem Patientensimulator durch und trugen dabei ein Blickbewegungsregistrierungssystem (EyeSeeCam) und ein Herzfrequenzmessgerät. Im Anschluss bewerteten die Probanden die Arbeitsbelastung subjektiv auf einem standardisierten Evaluationsbogen. Während der zweiten oder dritten Narkoseeinleitung wurde randomisiert die Arbeitsbelastung der Probanden erhöht, indem als Zwischenfall ein anaphylaktischer Schock simuliert wurde. Die Daten der zweiten und dritten Narkoseeinleitungen von 11 Probanden wurden ausgewertet.

Der Pupillendurchmesser und die Herzfrequenz stiegen mit zunehmendem Schweregrad des simulierten Zwischenfalls an.

Die Fixationsdauer nahm unter erhöhter Arbeitsbelastung ab, die Sakkadenamplitude hingegen wurde dadurch nicht beeinflusst.

Die subjektive Arbeitsbelastung war nach den Narkoseeinleitungen mit Zwischenfall signifikant größer als nach den Narkoseeinleitungen ohne Zwischenfall (9,4 vs. 13,0 auf der Borg-Skala) und zeigte eine signifikante Korrelation mit der Herzfrequenz.

Der Pupillendurchmesser und die Herzfrequenz spiegelten den Anstieg der Arbeitsbelastung *innerhalb* der Narkoseeinleitungen wider, waren jedoch nicht geeignet, die Arbeitsbelastung global *zwischen* Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall zu erfassen. Die Aussagekraft der Fixationsdauer in Bezug auf die Arbeitsbelastung ist eingeschränkt. Die Sakkadenamplitude spiegelte die Veränderungen der Arbeitsbelastung nicht wider. Die Borg-Skala war einfach anzuwenden und scheint ein valides Messinstrument für die subjektive Arbeitsbelastung zu sein.

Das Blickbewegungsregistrierungssystem störte die Patientenbehandlung nicht und scheint somit für den Einsatz im realen OP-Umfeld geeignet zu sein.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Modell der Arbeitsbelastung adaptiert nach Hart und Staveland (Hart et Staveland 1988); S.5

Abb. 3.1: Die EyeSeeCam mit den beiden unten seitlich angebrachten Infrarotkameras (4), die über Infrarotspiegel die Pupillen- und Augenbewegungen aufzeichnen (Komponente zur Blickbewegungsregistrierung). Die mittlere Szenenkamera (3) ist fest montiert. Über die seitlich registrierten Augenbewegungen werden die Servomotoren (1) gesteuert, welche die obere bewegliche Kamera (2) auf das Blickziel ausrichten. Diese Kamera ist somit blickgesteuert. S.16

Abb. 3.2: Der eingekreiste magentafarbene Punkt zeigt das Blickziel des Probanden während der endotrachealen Intubation. S.17

Abb. 4.1: Mittelwerte und Standardabweichungen der Herzfrequenz (A), der arteriellen Sauerstoffsättigung (B) und des arteriellen systolischen Blutdrucks (C) des Patientensimulators in Abhängigkeit der Simulatorstadien während der Narkoseeinleitungen mit Zwischenfall; S.23

Abb. 4.2: Geglättete Verläufe des Pupillendurchmessers der einzelnen Probanden für die Narkoseeinleitungen mit Zwischenfall. Der Pupillendurchmesser ist in Abhängigkeit der Zeit als relative Abweichung zum Ausgangswerte am Beginn der Narkoseeinleitungen angegeben. Der Anteil des Stadium 6 („Schwere Anaphylaxie“) am zeitlichen Verlauf ist als Korrelat für die maximale Arbeitsbelastung rot markiert. S.24f

Abb. 4.3: Änderung des gewichteten mittleren Pupillendurchmessers ausgehend vom Simulatorstadium 1 in Abhängigkeit der Simulatorstadien mit 95%-Konfidenzintervall für die Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall. Signifikante Übergänge zwischen den Stadien sind gekennzeichnet (* $p < 0,05$). Für das Stadium 1 sind keine Konfidenzintervalle angegeben, da es sich um den Referenzwert für die anderen Stadien handelt. Stadium 2 der Narkoseeinleitungen mit Zwischenfall wurde nicht in die Auswertung eingeschlossen, da es nur 3 Sekunden dauerte. S.27

Abb. 4.4: Die mittlere Fixationsdauer in Abhängigkeit der Simulatorstadien mit 95%-Konfidenzintervall für die Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall. Signifikante Übergänge zwischen den Stadien sind gekennzeichnet (* $p < 0,05$). S.29

Abb. 4.5: Die Mittelwerte der gewichteten Sakkadenamplitude in Abhängigkeit der Simulatorstadien mit 95%-Konfidenzintervall für die Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall. Signifikante Übergänge zwischen den Stadien sind gekennzeichnet (* $p < 0,05$). S.31

Abb. 4.6: Die Mittelwerte der gewichteten Herzfrequenz in Abhängigkeit der Simulatorstadien mit 95%-Konfidenzintervall für die Narkoseeinleitungen mit und ohne Zwischenfall. Signifikante Übergänge zwischen den Stadien sind gekennzeichnet (* $p < 0,05$). S.33

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1: RPE-Skala nach Borg (Ratings of Perceived Exertion) (Borg 1970); S.18

Tab. 3.2: Fragen zur Evaluation der Studie; S.19

Tab. 5.1: Tab. 5.1: Synopsis der Änderungen der genannten physiologischen Parameter unter erhöhter Arbeitsbelastung in der Literatur und der eigenen Untersuchung (* $p < 0,05$; ** Signifikanzen nicht angegeben); S.42

Tab. 5.2: Vergleich ausgewählter mittlerer RPE-Werte während Narkoseeinleitungen in verschiedenen Studien. Bei den eigenen Ergebnissen ist der RPE-Wert für die Narkoseeinleitungen ohne Zwischenfall angegeben. (* = an der Studie nahmen 9 Probanden teil, die z.T. mehrfach Narkosen durchführten); S.44

Literaturverzeichnis

1. Annett J.: Subjective rating scales: science or art? *Ergonomics* 45 (2002), 966-987
2. Borg G.: A simple rating scale for use in physical work tests. *Kgl. Fysiogr. Saellsk. Lund Foerh.* (1962a), 7-15
3. Borg G.: *Physical Performance and Perceived Exertion*. Lund, Sweden: Gleerup (1962b), 1-35
4. Borg G.: Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med* 2 (1970), 92-98
5. Borg G.: Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 14 (1982), 377-381
6. Brandt T., Glasauer S., Schneider E.: A third eye for the surgeon. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatr* 77 (2006), 278
7. Bridger R. S.: *Introduction to Ergonomics*, 2nd Edn. Taylor and Francis, London (2003)
8. Byrne A. J., Oliver M., Bodger O., Barnett W. A., Williams D., Jones H., Murphy A.: Novel method of measuring the mental workload of anaesthetists during clinical practice. *Br J Anaesth* 105 (2010), 767-771
9. Byrne A. J., Sellen A. J., Jones J. G.: Errors on anaesthetic record charts as a measure of anaesthetic performance during simulated critical incidents. *Br J Anaesth* 80 (1998), 58-62
10. Byrne A., Murphy A., McIntyre O., Tweed N.: The relationship between experience and mental workload in anaesthetic practice: an observational study. *Anaesthesia* 68 (2013), 1266-1272
11. Callan D. J.: Eye Movement Relationships to Excessive Performance Error in Aviation. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 42 (1998), 1132-1136
12. Cao C. G. L., Weinger M. B., Slagle J. et al.: Differences in Day and Night Shift Clinical Performance in Anesthesiology. *Hum Factors* (2008), 276-290

13. Charabati S., Bracco D., Mathieu P. A., Hemmerling T. M.: Comparison of four different display designs of a novel anaesthetic monitoring system, the 'integrated monitor of anaesthesia (IMATM)'. *British Journal of Anaesthesia* 103 (2009), 670-677
14. Davis D. H. J., Oliver M., Byrne A. J.: A novel method of measuring the mental workload an anaesthetists during simulated practice. *Br J Anaesth* (2009), 665-669
15. Duchowski A. T.: A breadth-first survey of eye-tracking applications. *Behav Res Methods Instrum Comput* 34 (2002), 455-470
16. Dyer I. R., Byrne A. J.: Heart rate as a measure of stress during real and simulated anaesthetic emergencies. *Anaesthesia* 57 (2002), 1215-1216
17. Farmer et Brownson: Review of Workload Measurement, Analysis and Interpretation Methods. Report for Eurocontrol Integraprogramme, Brussels (2003)
18. Fletcher G. C. L., McGeorge P., Flin R. H., Glavin R. J., Maran N. J.: The role of non-technical skills in anaesthesia: a review of current literature. *Br J Anaesth* 88 (2002), 418-429
19. Gaba D. M., Howard S. K., Jump B.: Production pressure in the work environment. California anesthesiologists' attitudes and experiences. *Anesthesiology* 81 (1994), 488-500
20. Gaba D. M., Lee T.: Measuring the workload of the anaesthesiologist. *Anesth Analg* (1990), 354-361
21. Gopher D., Donchin E.: Workload - an examination of the concept. In: Boff K. R., Kaufman L., Thomas J. P. (Hrsg): *Handbook of perception and human performance*. Vol 2: Cognitive processes and performance. John Wiley & Sons, Oxford, England (1986), 1-49
22. Hankins T. C., Wilson G. F.: A comparison of heart rate, eye activity, EEG and subjective measures of pilot mental workload during flight. *Aviation, space, and environmental medicine* 69 (1998), 360-367

23. Hart S. G., Staveland L. E.: Development of the NASA-TLX (Task Load Index): results of empirical and theoretical research. In: Hancock P. A., Meshkati N. (Hrsg): Human Mental Workload. Elsevier, Amsterdam (1988), S.139 - 183
24. Haslwanter T., Curthoys I. S., Black R., Topple A.: Orientation of Listing's plane in normals and patients with unilateral vestibular deafferentation. *Exp Brain Res* 3 (1994), 525-528
25. Hoogeboom P., Hilburn B.: Eye-derived indices of operator state. NLR/011001-5. Amsterdam: National Aerospace Laboratory NLR (2001)
26. Joos M., Rötting M., Velichkovsky B. M.: Die Bewegungen des menschlichen Auges: Fakten, Methoden, innovative Anwendungen. In: Rickheit G., Herrmann T., Deutsch W. (Hrsg): Psycholinguistik. Ein internationales Handbuch. W. de Gruyter, Berlin, New York (2003), 142-167
27. Jordan P. W.: An introduction to usability. Taylor & Francis, London [etc.] (1998)
28. Jorna P. G.: Heart rate and workload variations in actual and simulated flight. *Ergonomics* 36 (1993), 1043-1054
29. Kain Z. N., Chan K.-M., Katz J. D., Nigam A., Fleisher L., Dolev J., Rosenfeld L. E.: Anesthesiologists and acute perioperative stress: a cohort study. *Anesth. Analg* 95 (2002), 177-83, table of contents
30. Kantowitz B. H., Casper P. A.: Human workload in aviation. In: Wiener E. L., Nagel D. C. (Hrsg): Human factors in aviation. Academic Press, San Diego (1988), 158-159
31. Ladda J., Eggert T., Glasauer S., Straube A.: Velocity scaling of cue-induced smooth pursuit acceleration obeys constraints of natural motion. *Exp Brain Res* 182 (2007), 343-356
32. Leedal J. M., Smith A. F.: Methodological approaches to anaesthetists' workload in the operating theatre. *British journal of anaesthesia* 94 (2005), 702-709
33. Leigh R. J., Zee D. S.: The neurology of eye movements. Oxford Univ. Press., New York (1999). 3. ed.
34. May J. G., Kennedy R. S., Williams M. C., Dunlap W. P., Brannan J. R.: Eye movement indices of mental workload. *Acta psychologica* 75 (1990), 75-89

35. Megaw T.: The definition and measurement of mental workload. In: Wilson J. R., Corlett E. N. (Hrsg): Evaluation of Human Work. CRC Press (2010), 535-536
36. Mihevic P. M.: Sensory cues for perceived exertion: a review. Med Sci Sports Exerc 13 (1981), 150-163
37. Morris C. H., Leung Y. K.: Pilot mental workload: how well do pilots really perform? Ergonomics 49 (2006), 1581-1596
38. Nachreiner F.: Standards for ergonomics principles relating to the design of work systems and to mental workload. Appl Ergon 26 (1995), 259-263
39. Rantanen E. M., Goldberg J. H.: The effect of mental workload on the visual field size and shape. Ergonomics 42 (1999), 816-834
40. Ring J., Messmer K.: Incidence and severity of anaphylactoid reactions to colloid volume substitutes. Lancet 1 (1977), 466-469
41. Rivecourt M. de, Kuperus M. N., Post W. J., Mulder L. J. M.: Cardiovascular and eye activity measures as indices for momentary changes in mental effort during simulated flight. Ergonomics 51 (2008), 1295-1319
42. Saunders R. J., Jewett W. R.: System integration--the need in future anesthesia delivery systems. Med Instrum 17 (1983), 389-392
43. Schmidt R. F., Lang F., Heckmann M.: Physiologie des Menschen. Mit Pathophysiologie. Springer, Berlin (2005). 29., vollst. aktualisiert
44. Schneider E., Villgrattner T., Vockeroth J. et al.: EyeSeeCam: an eye movement-driven head camera for the examination of natural visual exploration. Ann. N. Y. Acad. Sci 1164 (2009), 461-467
45. Schulz C. M., Schneider E., Fritz L. et al.: Visual attention of anaesthetists during simulated critical incidents. British Journal of Anaesthesia (2011)
46. Senders J. W.: Mental Workload. Human Factors Bulletin 30 (1987), 6
47. Simpson H. M., Hale S. M.: Pupillary changes during a decision-making task. Percept Mot Skills 29 (1969), 495-498
48. Slagle J. M., Weinger M. B.: Effects of intraoperative reading on vigilance and workload during anesthesia care in an academic medical center. Anesthesiology 110 (2009), 275-283

49. Stassen H. G., Johannsen G., Moray N.: Internal representation, internal model, human performance model and mental workload. *Automatica* 26 (1990), 811-820
50. Svensson E. A. I., Wilson G. F.: Psychological and Psychophysiological Models of Pilot Performance for Systems Development and Mission Evaluation. *The International Journal of Aviation Psychology* 12 (2002), 95-110
51. Tole J. R., Stephens A. T., Harris R. L., Ephrath A. R.: Visual scanning behavior and mental workload in aircraft pilots. *Aviat Space Environ Med* 53 (1982), 54-61
52. van Orden K. F., Limbert W., Makeig S., Jung T. P.: Eye activity correlates of workload during a visuospatial memory task. *Hum Factors* 43 (2001), 111-121
53. Vonesh E. F., Chinchilli V. M.: Linear and nonlinear models for the analysis of repeated measurements. Marcel Dekker, New York (1997)
54. Weinger M. B., Herndon O. W., Gaba D. M.: The effect of electronic record keeping and transesophageal echocardiography on task distribution, workload, and vigilance during cardiac anesthesia. *Anesthesiology* 87 (1997), 144-55; discussion 29A-30A
55. Weinger M. B., Herndon O. W., Zornow M. H., Paulus M. P., Gaba D. M., Dallen L. T.: An objective methodology for task analysis and workload assessment in anesthesia providers. *Anesthesiology* 80 (1994), 77-92
56. Weinger M. B., Reddy S. B., Slagle J. M.: Multiple measures of anesthesia workload during teaching and nonteaching cases. *Anesth Analg* 98 (2004), 1419-25, table of contents
57. Welford A. T.: Mental work-load as a function of demand, capacity, strategy and skill. *Ergonomics* 21 (1978), 151-167
58. Wickens C. D., Hollands J. G.: Engineering psychology and human performance. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ (1992). 2nd
59. Williges R., Wierwille W. W.: Behavioral measures of aircrew mental workload. *Hum Factors* (1979), 549-574
60. Wood R. E.: Task complexity: Definition of the construct. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 37 (1986), 60-82
61. Young G., Zavelina L., Hooper V.: Assessment of workload using NASA Task Load Index in perianesthesia nursing. *J. Perianesth. Nurs* 23 (2008), 102-110

Anhang

Evaluationsbogen „Eye-Tracking am Simulator“

Name: _____

Datum: _____

Wie empfanden Sie die Anstrengung während des Szenarios?

6	Überhaupt keine Anstrengung
7	
8	Extrem gering
9	
10	Sehr gering
11	
12	Gering
13	
14	Einigermaßen groß
15	
16	Groß
17	
18	Sehr groß
19	
20	extrem
	Maximale Anstrengung

1. Wie bewerten Sie den Realitätsgrad der Szenarien heute?	sehr unrealistisch	unrealistisch	weiß nicht	realistisch	sehr realistisch
2. Hat die Kopfkamera Sie bei Ihrer Arbeit gestört?	Überhaupt nicht	kaum	weiß nicht	ja	ja sehr
3. Wie realistisch war das Simulationsteam im Szenario?	sehr unrealistisch	unrealistisch	weiß nicht	realistisch	sehr realistisch
4. Waren Sie während des Szenarios gestresst wegen des Gefühls genau beobachtet zu werden?	nein	eher nein	weiß nicht	eher ja	Ja
5. Wie war Ihre Tagesverfassung /-befindlichkeit?	sehr schlecht	schlecht	mittel	gut	sehr gut
6. Hat die Kopfkamera Ihre Bewegungsfreiheit eingeschränkt?	Überhaupt nicht	eher nein	Weiß nicht	ja	ja sehr
7. War die Simulatoreinführung ausführlich genug?	unvollständig		genau richtig		zu lang
8. Hat die Kopfkamera die Behandlung des Patienten beeinträchtigt?	Überhaupt nicht	eher nein	Weiß nicht	etwas	ja
9. Wenn Sie bei Frage ⁸ „etwas“ oder „ja“ angekreuzt haben, wobei genau:					

Publikationsverzeichnis

Schulz CM, Schneider E, Fritz L, Vockeroth J, Hapfelmeier A, Wasmaier M, Kochs EF, Schneider G.: Eye tracking for assessment of workload: a pilot study in an anaesthesia simulator environment.

Br J Anaesth 106 (2011) 44–50

Schulz CM, Schneider E, Fritz L, Vockeroth J, Hapfelmeier A, Brandt T, Kochs EF, Schneider G.: Visual attention of anaesthetists during simulated critical incidents.

Br J Anaesth 106 (2011) 807–813

Lebenslauf

Lukas Fritz

geboren am 24.10.1985 in Oberstdorf

verheiratet mit Dr. med. dent. Sabina Marie Fritz, geb. Berktold

Kinder: Jonas Lukas
Ida Maria
Beat Joseph
Oskar Tobias

Schulbildung

1992 – 1996 Volksschule Riezlern, Gemeinde Mittelberg,
Österreich
1996 – 2005 Gertrud-von-le-Fort-Gymnasium Oberstdorf
2005 Abitur

Grundwehrdienst

2005 – 2006 Österreichisches Bundesheer, Jägerbataillon 23,
Bludesch

Studium der Humanmedizin

2006 – 2008 Vorklinischer Abschnitt an der LMU München
2008 1. Abschnitt der ärztlichen Prüfung
2008 – 2011 Klinischer Abschnitt an der TU München
2011 – 2012 Praktisches Jahr an der Universität Ulm
2012 2. Abschnitt der ärztlichen Prüfung

2009 – 2011 Studentische Hilfskraft am Simulationszentrum der
Klinik für Anästhesiologie des Klinikums rechts der
Isar

Beruf

seit 2013 Assistenzarzt in der Abteilung für Innere Medizin
der Klinik Oberstdorf (Klinikverbund Kempten-
Oberallgäu)

Danksagung

Ich danke Herrn Univ.-Prof. Dr. med., Dipl.-Phys. Eberhard Kochs, Direktor der Klinik für Anästhesiologie am Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München, der mir die Erstellung dieser Dissertation an seiner Klinik ermöglichte.

Herrn Prof. Dr. med. Gerhard Schneider, Direktor der Klinik für Anästhesiologie am Helios Klinikum Wuppertal, Universität Witten/Herdecke, danke ich für die Überlassung des Themas der vorliegenden Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. med. Christian Schulz, Klinik für Anästhesiologie am Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München, für seine exzellente, zeitnahe und geduldige Betreuung und seine Unterstützung in jeder Hinsicht.

Für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung danke ich Herrn Dipl.-Stat. Alexander Hapfelmeier vom Institut für Medizinische Statistik und Epidemiologie der Technischen Universität München.

Allen Probanden von der Klinik für Anästhesiologie am Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München danke ich für ihre Teilnahme an der Studie.

Meiner Familie danke ich für ihre Unterstützung, die zum Gelingen dieser Arbeit, auch durch manchen Verzicht, beigetragen hat. Insbesondere danke ich meinen Eltern, die mir das Medizinstudium durch großzügige materielle und ideelle Unterstützung ermöglicht haben.