

Aus der Klinik für Anästhesie und Intensivmedizin
(Direktor Univ.-Prof. Dr. med. Michael Wendt)
der Universitätsmedizin der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

**Biofeedback zur Unterstützung des Weaning-Prozesses vom
Respirator bei langzeitbeatmeten Intensivpatienten**

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des akademischen
Grades
Doktor der Medizin
(Dr. med.)
der
Universitätsmedizin
der
Ernst-Moritz-Arndt-Universität
Greifswald
2012

Vorgelegt von: Cordula Weil
Geboren am: 15. Juni 1983
In: Nürnberg

Dekan: Prof. Dr. rer. nat. Heyo K. Kroemer

1. Gutachter: Prof. Dr. med. Ch. Lehmann

2. Gutachter: PD Dr. med. J. Birnbaum

Ort, Raum: Universitätsmedizin Greifswald,
Klinik für Innere Medizin B, Raum O 0.88

Tag der Disputation: 28. 11. 2012

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen	iii
Abbildungsverzeichnis	iv
Tabellenverzeichnis	v
1 Einleitung	1
2 Theoretische Vorbetrachtungen	2
2.1 Weaning	2
2.1.1 Definition	2
2.1.2 Voraussetzungen	2
2.1.3 Weaning-Verfahren	3
2.1.4 Probleme	5
2.2 Biofeedback	6
2.2.1 Definition	6
2.2.2 Historischer Überblick	6
2.2.3 Aktueller Wissensstand	7
2.2.4 Wirkungsweise	8
2.2.5 Arten des Biofeedbacks	8
2.2.6 Anwendungsgebiete und Indikationen	8
2.2.7 Durchführung der Biofeedback-Sitzungen	9
2.2.8 Probleme	9
2.3 Biofeedback als Hilfe beim Weaning	10
3 Fragestellung	11
4 Material und Methoden	12
4.1 Patienten und biometrische Daten	12
4.2 Generelle Informationen zu den Patienten	13
4.3 Hard- und Software	13
4.4 Studienbeschreibung	13
4.4.1 Einschlussuntersuchung	15
4.4.2 Durchführung der Biofeedback-Sitzungen	15
4.5 Statistik	16

5	Ergebnisse	17
5.1	Einzel Darstellungen	17
5.1.1	Atemfrequenz	17
5.1.2	Herzfrequenz	19
5.1.3	Atemzugvolumen	20
5.1.4	Atemminutenvolumen	22
5.2	Gesamtdarstellung	24
5.2.1	Atemfrequenz	24
5.2.2	Herzfrequenz	26
5.2.3	Atemzugvolumen	27
5.2.4	Atemminutenvolumen	29
5.3	Regressionsanalysen	31
5.3.1	Herzfrequenz/Atemfrequenz	31
5.3.2	Herzfrequenz/Atemzugvolumen	33
6	Diskussion	35
6.1	Wesentliche Ergebnisse	35
6.2	Atemfrequenz	35
6.3	Herzfrequenz	37
6.4	Atemzugvolumen	38
6.5	Atemminutenvolumen	39
6.6	Regressionsanalyse zu Herzfrequenz und Atemfrequenz	41
6.7	Regressionsanalyse zu Herzfrequenz und Atemzugvolumen	42
6.8	Methodenkritik	42
7	Zusammenfassung	45
	Literatur	I
A	Tabellarische Darstellungen	VI

Abkürzungen

<i>AF</i>	Atemfrequenz
CPAP	Continuous positive airway pressure
EMG	Elektromyogramm
FIO_2	Anteil des Sauerstoffs in der Inspirationsluft
FRC	Funktionelle Residualkapazität
<i>HF</i>	Herzfrequenz
<i>MV</i>	Atemminutenvolumen
$P_{0,1}$	Inspiratorischer Mundverschlussdruck 0,1 s nach Beginn der Inspiration gemessen
PEEP	positiver endexpiratorischer Druck
$P_{i_{max}}$	maximaler inspiratorischer Sog
PSV	Pressure support ventilation
RSBI	Rapid shallow breathing index
S_aO_2	arterielle Sauerstoffsättigung
SIMV	Synchronized intermittent mandatory ventilation
<i>VC</i>	Vitalkapazität
V_T	Atemzugvolumen (= Tidalvolumen)

Abbildungsverzeichnis

5.1	Atemfrequenz: erste Sitzung (ausgewählter Patient)	17
5.2	Atemfrequenz: letzte Sitzung (ausgewählter Patient)	18
5.3	Atemfrequenz: alle Sitzungen (ausgewählter Patient)	18
5.4	Herzfrequenz: erste Sitzung (ausgewählter Patient)	19
5.5	Herzfrequenz: letzte Sitzung (ausgewählter Patient)	19
5.6	Herzfrequenz: alle Sitzungen (ausgewählter Patient)	20
5.7	Atemzugvolumen: erste Sitzung (ausgewählter Patient)	20
5.8	Atemzugvolumen: letzte Sitzung (ausgewählter Patient)	21
5.9	Atemzugvolumen: alle Sitzungen (ausgewählter Patient)	21
5.10	Atemminutenvolumen: erste Sitzung (ausgewählter Patient)	22
5.11	Atemminutenvolumen: letzte Sitzung (ausgewählter Patient)	22
5.12	Atemminutenvolumen: alle Sitzungen (ausgewählter Patient)	23
5.13	Atemfrequenz: erste Sitzung (alle Patienten)	24
5.14	Atemfrequenz: letzte Sitzung (alle Patienten)	25
5.15	Atemfrequenz: alle Sitzungen (alle Patienten)	25
5.16	Herzfrequenz: erste Sitzung (alle Patienten)	26
5.17	Herzfrequenz: letzte Sitzung (alle Patienten)	26
5.18	Herzfrequenz: alle Sitzungen (alle Patienten)	27
5.19	Atemzugvolumen: erste Sitzung (alle Patienten)	27
5.20	Atemzugvolumen: letzte Sitzung (alle Patienten)	28
5.21	Atemzugvolumen: alle Sitzungen (alle Patienten)	28
5.22	Atemminutenvolumen: erste Sitzung (alle Patienten)	29
5.23	Atemminutenvolumen: letzte Sitzung (alle Patienten)	29
5.24	Atemminutenvolumen: alle Sitzungen (alle Patienten)	30
5.25	Regression HF/AF : erste Sitzung (alle Patienten)	31
5.26	Regression HF/AF : letzte Sitzung (alle Patienten)	32
5.27	Regression HF/AF : alle Sitzungen (alle Patienten)	32
5.28	Regression HF/V_T : erste Sitzung (alle Patienten)	33
5.29	Regression HF/V_T : letzte Sitzung (alle Patienten)	34
5.30	Regression HF/V_T : alle Sitzungen (alle Patienten)	34

Tabellenverzeichnis

4.1	Generelle Informationen zu den Patienten	14
A.1	Atemfrequenzen zu den Sitzungen 1 bis 14	VII
A.2	Herzfrequenzen zu den Sitzungen 1 bis 14	VIII
A.3	Atemzugvolumen zu den Sitzungen 1 bis 14	IX
A.4	Atemminutenvolumen zu den Sitzungen 1 bis 14	X

Kapitel 1

Einleitung

Die Fortschritte der modernen Medizin bei gleichzeitig zunehmender Morbidität der Patienten bringen es mit sich, dass immer mehr Patienten langzeitbeatmet werden. Nicht wenige haben später beim sogenannten «Weaning» – der Entwöhnung vom Respirator – Probleme. Diese Probleme können die verschiedensten Ursachen haben, ziehen jedoch immer eine verlängerte, mit vielen Komplikationen verbundene Beatmungsdauer nach sich. Da dies auch zu erhöhten Kosten im Gesundheitssystem führt, gibt es schon seit längerem Bestrebungen, die Entwöhnung von der maschinellen Beatmung zu beschleunigen. Weaning soll nicht mehr nur auf den Intensivstationen stattfinden, sondern auf eigens dafür ausgestatteten Stationen. Speziell für Patienten, bei denen das Weaning schwierig und zeitaufwändig ist, wurde 2005 in Greifswald eine eigene Station eröffnet.

Es gibt unterschiedliche Ansätze, um die Dauer des Weanings zu verkürzen.

Bisher wurde nur eine einzige Studie – von Holliday und Hyers [19] – zum Einsatz von Biofeedback zur schnelleren Entwöhnung vom Respirator durchgeführt. Diese wurde jedoch aufgrund von Methodenfehlern und Fehlern bei der Durchführung kritisiert. Alle anderen Erfahrungen stammen aus einzelnen Fallberichten. Daher war es nötig, eine Studie durchzuführen, die die Fehler der vorangegangenen Studie meidet und zu neuen Erkenntnissen kommt.

Die vorliegende Studie ist eine Pilotstudie. Sie soll dabei helfen, herauszufinden, ob Biofeedback im Weaning-Prozess sinnvoll dazu eingesetzt werden kann, die Beatmungsparameter zu verbessern und somit das Weaning zu beschleunigen und eventuell die Dauer der maschinellen Beatmung zu verkürzen.

Kapitel 2

Theoretische Vorbetrachtungen

2.1 Weaning

2.1.1 Definition

«Weaning» bedeutet wörtlich übersetzt «Entwöhnung» und meint in diesem Fall die Entwöhnung von der maschinellen Beatmung. Es kann definiert werden als der Zeitraum, den ein Patient benötigt, um nach einer längeren Beatmungsdauer wieder selbständig und ohne zusätzliche Unterstützung durch ein Beatmungsgerät zu atmen. Zwei große Multicenterstudien [2, 7, 15, 28] zeigten, dass 75 % der beatmeten Patienten direkt ohne weitere Maßnahmen vom Beatmungsgerät genommen werden können. Nur in etwa 25 % der Fälle sind eine weitere Therapie und eine längere Entwöhnungsdauer nötig.

2.1.2 Voraussetzungen

Damit man im klinischen Alltag auf Intensivstationen mit dem Weaning beginnen kann, müssen bestimmte Voraussetzungen seitens des Patienten erfüllt sein. Es gibt verschiedenste Kriterien [28, 30], um die für das Weaning geeigneten Patienten auszuwählen. Die wichtigste Voraussetzung ist, dass der Grund für die Beatmung beseitigt sein oder das Krankheitsbild des Patienten sich wesentlich verbessert haben muss. Außerdem sollten die Patienten bei einem Anteil des Sauerstoffs in der Inspirationsluft (FIO_2) von weniger als 0,5 eine arterielle Sauerstoffsättigung (S_aO_2) von mindestens 90 % haben. Zudem wird ein positiver endexpiratorischer Druck (PEEP) von weniger als 5 cm H_2O gefordert.

Einige Parameter lassen sich leicht am Patientenbett bestimmen, haben jedoch keinen sehr hohen prädiktiven Wert bezüglich des Weaning-Erfolges. Dazu zählen

das Atemzugvolumen (V_T), die Atemfrequenz (AF), die Vitalkapazität (VC) und das Atemminutenvolumen (MV).

Wie verschiedene Studien zeigen, gibt es jedoch auch Parameter, die eine genauere Vorhersage erlauben. Ein solcher Wert ist der maximale inspiratorische Sog ($P_{i,max}$) [30, 44]. Dieser sollte mindestens -20 cm H₂O bis -30 cm H₂O betragen. In einer Studie von Yang und Tobin zeigte sich aber auch, dass 40 % der Patienten mit einem $P_{i,max} \leq -20$ cm H₂O trotzdem nicht entwöhnt werden konnten. Jedoch konnte kein Patient mit einem höheren Wert geweant werden. Dies zeigt, dass man den maximalen inspiratorischen Sog nur als Parameter für einen zu frühen – und deshalb sehr wahrscheinlich erfolglosen – Weaning-Versuch verwenden kann [44].

Ein zweiter wichtiger Vorhersagewert für den Weaning-Erfolg ist der Rapid shallow breathing index (RSBI), der sich aus dem Quotienten AF/V_T ergibt und bei gesunden Erwachsenen normalerweise weniger als 50 AZ/min/l beträgt [30]. Bei schwierig zu entwöhnenden Patienten wurden weitaus höhere Werte gemessen, die auf eine zu schnelle und flache Atmung hindeuteten. Bei einem RSBI > 105 AZ/min/l waren 95 % aller Entwöhnungsversuche erfolglos [30, 34, 37]. Unter den hier vorgestellten Parametern hat dieser Quotient den höchsten positiven und negativen prädiktiven Wert [44].

Ein weiterer wichtiger Parameter ist der inspiratorische Mundverschlussdruck ($P_{0,1}$), der ein gutes Maß für die Arbeit des Atemzentrums ist. In Studien von Sassoon et. al. [40] und Purro et. al. [37] zeigte sich, dass Patienten mit einem Wert von $P_{0,1} < 6$ cm H₂O erfolgreich entwöhnt werden konnten, während die Weaning-Versuche bei höheren Drücken erfolglos waren. Das Produkt $P_{0,1} \times AF/V_T$ verbessert leicht die Spezifität des Indexes [40].

Statt mit den aufgeführten Parametern kann auch ein Versuch mit der T-Stück-Atmung gemacht werden. Die Entscheidung für oder gegen Weaning wird dann je nach der Toleranz der Patienten gegenüber dieser Methode getroffen. Hierfür sprechen die Ergebnisse einer Studie von Brochard et. al., bei der sich zeigte, dass nach einer Behandlung von zwei Stunden Dauer die Vorhersage über den Weaning-Erfolg bei nur 12 % der Patienten nicht zutraf [7].

2.1.3 Weaning-Verfahren

Es gibt verschiedene Verfahren, die zur Entwöhnung vom Respirator angewendet und in Studien getestet wurden. Hier sollen nur die wichtigsten besprochen werden.

Das erste Verfahren ist die Synchronized intermittent mandatory ventilation (SIMV). Dabei wird die minimale Atemfrequenz vom Respirator vorgegeben, der Patient kann

aber zwischen den maschinellen Atemhüben selbständig atmen. Beim Weaning wird nun die maschinelle Atemfrequenz Schritt für Schritt verringert [30]. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht in einer großen Therapiebrotte – von kompletter Übernahme der Atmung durch die Maschine bis hin zum selbständigen Atmen des Patienten. Dadurch kann ein sanfter Übergang von maschineller zu eigenständiger Atmung erreicht werden. Ein Nachteil besteht jedoch in der erhöhten Atemarbeit, die durch den vermehrten Totraum im System des Ventilators verursacht wird.

Eine andere Methode ist die Pressure support ventilation (PSV) – eine druckunterstützte Beatmung, bei der während der gesamten Inspiration ein konstanter Druck in den Atemwegen aufrechterhalten wird. Der Patient selbst bestimmt aber die Atemfrequenz, den Zeitpunkt der Einatmung und das Atemzugvolumen. Die wichtigsten Vorteile dieser Methode sind die verbesserte Effektivität der Spontanatmung und die damit verbundene Reduktion des Sauerstoffverbrauchs der Atemmuskulatur [6]; letztere beugt einer Schwäche des Zwerchfells vor.

Weiterhin wird Continuous positive airway pressure (CPAP) zur Entwöhnung vom Respirator benutzt. Darunter versteht man eine „Form der Spontanatmung mit kontinuierlichem positivem Atemwegsdruck während des gesamten Atemzyklus“. Sowohl während der In- als auch während der Expiration herrscht also ständig ein im Vergleich zum atmosphärischen Druck erhöhter Druck in den Atemwegen. Dies hat zur Folge, dass ein Kollaps der kleinen Atemwege bei der Expiration verhindert und damit auch die Funktionelle Residualkapazität (FRC) vergrößert wird. Dadurch wird die Oxygenierung verbessert und zugleich die Atemarbeit vermindert [35]. Ein wichtiger Nachteil dieser Methode ist der unzureichende Schutz vor Phasen der Hypoventilation oder Apnoe, da es sich bei CPAP um einen Atemmodus handelt, der nur auf Spontanatmung basiert. Da der Patient aber noch mit dem Respirator verbunden ist, gibt es zumindest ein Warnsystem, das trotzdem einen gewissen Schutz bietet [26].

Ein weiteres Verfahren ist das T-Stück-Weaning. Dabei wird der Patient vom Beatmungsgerät abgekoppelt; seiner Trachealkanüle wird dann ein kleiner Schlauch aufgesetzt, durch den ein konstant hoher Gasstrom – ein Sauerstoff-Luft-Gemisch in einem einstellbaren Verhältnis – fließt. So wird verhindert, dass der Patient zu viel verbrauchte Luft rücktmet. Es gibt die verschiedensten Protokolle, wie oft und wie lange ein Patient pro Tag das T-Stück-Weaning durchführen sollte. Allen gemein ist aber die stete Verlängerung dieser Phasen. Toleriert der Patient dieses Verfahren nicht mehr, wird er wieder an das Beatmungsgerät angeschlossen, so dass er sich erholen kann. Nach der Erholung erfolgt wieder eine Phase mit T-Stück-Atmung, bis schließlich

eine Dauer von über 24 Stunden toleriert wird. Dann kann man von einem positiven Weaning-Erfolg ausgehen. [30]

In zwei großen Studien kam man zu unterschiedlichen Ergebnissen bezüglich der Wirksamkeit der unterschiedlichen Verfahren. So zeigten Esteban et. al. [15], dass Patienten mit einem ein- oder mehrmals täglich durchgeführten T-Stück-Weaning dreimal schneller als mit der SIMV-Methode und zweimal schneller als mit PSV entwöhnt werden konnten. Brochard et. al. [7] kamen jedoch zu dem Schluss, dass die PSV-Methode am schnellsten zu erfolgreichem Weaning führt. Dass diese beiden Studien zu verschiedenen Ergebnissen führten, liegt zum Teil an den unterschiedlichen Kriterien, wann ein Patient geweant oder extubiert werden kann [2].

Der wichtigste Faktor für den Erfolg des Weanings scheint jedoch zu sein, dass man beim täglich praktizierten T-Stück-Weaning am schnellsten erkennt, wann der Patient wieder selbständig atmen kann. Die Methode selbst spielt dabei nur eine untergeordnete Rolle. [14]

2.1.4 Probleme

Aufgrund des komplexen Zusammenspiels physiologischer und psychologischer Aspekte [25] können während des Entwöhnungsprozesses die unterschiedlichsten Probleme auftreten. Da diese Aspekte oft miteinander verknüpft sind, werde ich hier nicht zwischen den beiden Gruppen unterscheiden.

Die wichtigsten Gründe, warum es zu einem Weaning-Versagen kommen kann, sind das Versagen der Atempumpe durch Ermüdung der Atemmuskulatur, die kardiopulmonale Instabilität, ein pathologischer Gasaustausch und die psychische Abhängigkeit vom Respirator [29]. Besonders letztere ist für diese Studie interessant, da hier an genau dieser Stelle angesetzt werden sollte. Die Abhängigkeit vom Respirator wird durch Faktoren wie Angst, Depression und verminderte Kommunikationsfähigkeit hervorgerufen und durch Schmerz noch verstärkt [4, 22, 24]. Aufgrund der Angst kommt es – anders als bei der Ermüdung der Atemmuskulatur oder bei kardiopulmonalen Erkrankungen, die beide zu einer Verminderung des Tidalvolumens führen – zu Hyperventilation mit einer Zunahme des Tidalvolumens. Infolgedessen werden vermehrt Katecholamine ausgeschüttet, die wiederum den Sauerstoffverbrauch und die CO₂-Produktion erhöhen [28, 30].

Auch muss darauf geachtet werden, dass der Elektrolythaushalt des Patienten ausgeglichen ist, da ein Magnesium- oder Phosphatmangel ebenfalls zu einer Schwächung der Atemmuskulatur führen kann [3, 13]. Außerdem sollte eine hyperkalorische Ernährung

vermieden werden, da sie eine erhöhte CO₂-Produktion begünstigt. Diese führt zu einer vermehrten Atemtätigkeit, mit der der Säure-Basen-Haushalt respiratorisch kompensiert werden soll. [28]

2.2 Biofeedback

2.2.1 Definition

Unter «Biofeedback» versteht man die Bewusstmachung körperlicher Funktionen, die normalerweise unbewusst ablaufen. Durch diese Methode sollen dem Patienten vegetative Körperfunktionen bewusst gemacht werden; zudem soll er lernen, diese willentlich zu kontrollieren und zu verändern. Die Bewusstmachung geschieht durch die Umwandlung der vegetativen – normalerweise unbewussten – Funktionen in wahrnehmbare Signale, z. B. akustische oder visuelle. [8, 41]

2.2.2 Historischer Überblick

Versuche und Studien mit verschiedenen Arten von Biofeedback werden schon seit über hundert Jahren durchgeführt. Im Folgenden soll ein kurzer Abriss über die Geschichte der Biofeedback-Forschung und -anwendung gegeben werden.

Bereits frühe Versuche mit der willkürlichen Kontrolle von Körperfunktionen – wie bei Ivan Romanovich Tarchanoff von 1885 – zeigten, dass es möglich ist, gezielt in die sonst unwillkürlich ablaufenden Körperfunktionen einzugreifen. Tarchanoff nutzte eine frühe Form des akustischen Biofeedbacks, um der Versuchsperson ihren eigenen Herzschlag in Form von Tönen vorzuspielen. Dabei entdeckte er, dass dieser Mensch in der Lage war, willentlich seinen Puls um bis zu 30 HS/min zu beschleunigen. Daraufhin untersuchte er weitere Personen und fand immer dieselbe Fähigkeit – wenn auch in unterschiedlicher interindividueller Ausprägung – vor. [45]

In den 1930er Jahren folgten dann weitere Versuche, u. a. über die willkürliche Beeinflussung der Akkommodation und der Pupillenreaktion. Auch die Piloerektion – also das absichtliche Erzeugen einer Gänsehaut – wurde untersucht. Daneben wandte Edmund Jacobson – der Erfinder der progressiven Muskelrelaxation – akustisches Biofeedback in Form einer verbalen Beschreibung der aufgezeichneten Kurve des Elektromyogramms (EMG) an, um eine Entspannung des Patienten zu erreichen. [41, 45]

Es gibt also schon lange die Vorstellung und das Wissen, dass die willkürliche Kontrolle von autonomen Körperfunktionen möglich – vor allem aber nützlich – sein

kann. Daraus entwickelte sich nach und nach das Verfahren des Biofeedbacks, das auf dem Prinzip der operanten Konditionierung beruht. Seit den 1940er Jahren ist der Begriff «Biofeedback» in der Wissenschaft bekannt und akzeptiert. [41]

Ab 1960 wurden die unterschiedlichsten Studien über Biofeedback veröffentlicht. Die wichtigste darunter ist die von Neal Miller, der Ratten Curare injizierte, sie künstlich beatmete und zeigte, dass trotz der Lähmung Puls, Blutdruck und Harnbildung operant konditioniert werden können. [33, 41]

Doch nicht nur in der westlichen Welt sind Methoden der Körperkontrolle bekannt. So ist es Yogis möglich, willentlich Werte wie Puls und Blutdruck, aber auch die Körpertemperatur, zu regulieren. In einem Versuch von Green et. al. [18] gelang es dem Yogi Swami Rama, für die Dauer von 16 Sekunden ein Kammerflattern mit einer Frequenz von 306 HS/min zu produzieren, ohne davon Schaden zu nehmen.

In den 1970er Jahren wurde damit begonnen, das Feedbackverfahren in der Therapie verschiedenster Erkrankungen einzusetzen. Damit bildeten sich auch die unterschiedlichen Zweige des Biofeedbacks – u. a. das von Hanscarl Leuner entwickelte respiratorische Feedback – heraus. [41, 45]

2.2.3 Aktueller Wissensstand

Auch heute spielt Biofeedback im Klinikalltag wie in der klinischen Forschung eine wichtige Rolle. Hauptsächlich wird es auf dem Gebiet der psychosomatischen Erkrankungen eingesetzt, daneben werden aber auch andere therapeutische Möglichkeiten erforscht.

Bisher gibt es nur eine kontrollierte Studie [19], die sich konkret mit der Thematik *Biofeedback und Weaning* beschäftigte. Diese Studie wurde jedoch aufgrund der nicht genannten Weaning-Kriterien kritisiert. Zudem erschweren methodische Fehler – wie etwa die Anwendung verbaler Unterstützung des Patienten während der Biofeedback-Sitzungen – die Interpretation dieser Studie. [10]

Auch bei allen anderen Studien und Veröffentlichungen ist eine Interpretation der Ergebnisse kompliziert, da es sich dabei entweder um einzelne Fallberichte handelt oder aber das Biofeedback in Kombination mit anderen Methoden angewandt wurde [1, 9–12, 23–25]. Dennoch zeigten aber alle, dass Biofeedback ein wichtiges Hilfsmittel beim Weaning sein kann.

2.2.4 Wirkungsweise

Die Wirkungsweise des Biofeedbacks kann auf verschiedene Mechanismen zurückgeführt werden. So wird in einem Modell das Biofeedback als positiver Verstärker bei der operanten Konditionierung – also dem Lernen am Erfolg – betrachtet. Ein anderer Ansatz ist, Biofeedback als Wahrnehmungstraining, welches die Beeinflussung bestimmter Körperfunktionen ermöglicht, zu betrachten. Dagegen spricht jedoch, dass sich in einigen Studien zeigte, dass die Wahrnehmung eben *nicht* durch das Biofeedback verbessert wurde.

Zudem soll der Patient durch das Training lernen, sich zu entspannen und diese Methode dann auch selbständig anzuwenden. Auch die Erkennung der Selbstwirksamkeit kann für den Patienten und den Erfolg des Biofeedbacks wichtig sein. Sie lenkt den Patienten von Ängsten und störenden Gedanken ab und beschleunigt somit die Heilung. Als wichtiger Faktor wird auch die Erwartung, die der Patient in die Therapie setzt, gewertet. Dieser Faktor wurde in einer Studie von Holroyd et. al. [21] als *die* entscheidende Größe identifiziert. [8, 41, 43, 45]

2.2.5 Arten des Biofeedbacks

Im Folgenden sollen verschiedene Arten des Biofeedbacks vorgestellt werden. Ein Kriterium zu ihrer Unterscheidung ist die Art des Signals, das der Patient erhält; in diesem Zusammenhang differenziert man zwischen akustischem und visuellem Feedback. Auch die Art der Körperfunktion, die beeinflusst werden soll, ist ein Kriterium. Hier unterscheidet man z. B. das Biofeedback der Atemfunktion (respiratorisches Feedback), der Muskelaktivität, der Gehirnaktivität, der Herzfrequenz, des Blutdrucks, der Oberflächentemperatur, der peripheren Durchblutung und des elektrischen Hautwiderstands. [45] Im Rahmen dieser Studie ist besonders das respiratorische Feedback von Interesse.

2.2.6 Anwendungsgebiete und Indikationen

Jede Art des Feedbacks ist auf spezielle Anwendungsgebiete und Indikationen zugeschnitten. Alle Arten dienen grundsätzlich entweder dazu, das Auftreten von Krankheiten zu verhindern, oder aber dazu, eine bereits eingetretene Krankheit zu heilen oder zumindest zu lindern. Vor allem auf dem Gebiet der psychosomatischen Krankheiten wird Biofeedback eingesetzt. So ist für eine korrekte Indikation eine genaue Anamnese wichtig, um zu erfahren, in welchen Situationen die Probleme auftreten, durch was sie verschlechtert werden und ob andere psychische Erkrankungen – z. B. Depressionen –

vorliegen, die durch Biofeedback meist nur schlecht behandelt werden können. Auch muss in Erfahrung gebracht werden, welche Folgen aus den physischen Reaktionen resultieren, da diese oft die Krankheit verstärken, wenn sie eine Belohnung (primärer Krankheitsgewinn) darstellen. Im Folgenden werden die einzelnen Anwendungsgebiete der wichtigsten Arten von Biofeedback kurz dargestellt.

Das respiratorische Feedback wird als Entspannungstraining und zur Behandlung des Stotterns eingesetzt. Außerdem kommt es in der Therapie von Panikstörungen zur Anwendung [31, 32]. In der vorliegenden Studie wurde eine neue Indikation getestet: die Anwendung des respiratorischen Feedbacks beim Weaning.

Auch das Feedback der Muskelaktivität kann zur Entspannung verwendet werden. Außerdem hilft es bei Spannungskopfschmerz oder Rückenschmerzen. Vor allem in der Therapie von Epilepsien kommt ein Feedback der Gehirnaktivität mittels EEG-Elektroden zum Einsatz. [41, 45]

2.2.7 Durchführung der Biofeedback-Sitzungen

Normalerweise folgt auf die genaue Anamnese und Indikationsstellung eine Sitzung, in der das Reaktionsmuster des Patienten auf Stress analysiert wird. In der vorliegenden Studie wurde diese Sitzung jedoch nicht durchgeführt, da die Indikation klinisch gestellt wurde. Erst in der dritten Sitzung wird mit dem eigentlichen Training begonnen. Diese und die nachfolgenden Sitzungen sind dann jeweils in drei Abschnitte, die nacheinander durchlaufen werden, unterteilt. In der ersten Phase, die ca. fünf bis zehn Minuten dauert, wird die Baseline aufgezeichnet – es werden also die Ausgangswerte ohne Biofeedback aufgenommen. Danach folgt der Übungsteil, in dem der Patient mit Hilfe des Biofeedbacks trainiert, die angestrebte Körperfunktion zu kontrollieren. Diese Phase dauert ca. 10 bis 15 Minuten. Daran wird eine Phase der Nachbeobachtung ohne Biofeedback angeschlossen, die dann schon eventuelle Erfolge erkennbar macht. Je nach Indikation und Erfolg werden 6 bis 20 Sitzungen angestrebt. Die Zahl der Sitzungen kann jedoch auch erhöht werden. [45]

2.2.8 Probleme

Da das Training des Biofeedbacks einen Eingriff in den menschlichen Körper darstellt, ist es nicht ganz ohne Gefahren. Obwohl dabei Probleme auftreten können, gibt es aber keine strengen Kontraindikationen.

Bei einer Kombination von Medikamenten und Biofeedback sollte eine Reduktion

der Medikamente immer nur langsam erfolgen, um negative Reaktionen zu vermeiden. Auch sollte bei älteren und kardiopulmonal erkrankten Patienten beachtet werden, dass die Sitzungen und die damit verbundene Entspannung eine Hypotonie erzeugen können, welche wiederum mit Schwindel und Schwäche einhergehen kann. Deshalb sollte bei diesen Patienten die Behandlung immer auch von einem Arzt begleitet werden. [45]

Bei Patienten mit Psychosen können eventuell Wahnvorstellungen mit dem Gefühl der Gedankenmanipulation von außen erzeugt werden. Bei diesen Patienten sollte auf die Anwendung von Biofeedback verzichtet werden. Manche Patienten sind auch durch die eintretende Entspannung und die damit entfallenden Bewältigungsmechanismen mit den dann wieder plötzlich auftretenden Ängsten überfordert. Ein weiteres großes Problem ist der mangelnde Therapieerfolg und die damit schlechter werdende Compliance des Patienten. [41, 45]

2.3 Biofeedback als Hilfe beim Weaning

Nachdem in Abschnitt 2.1 und Abschnitt 2.2 die Grundlagen dieser Studie einzeln betrachtet wurden, soll in diesem Abschnitt erklärt werden, warum und wie Biofeedback bei der Entwöhnung vom Respirator helfen könnte.

Da Faktoren wie die psychische Abhängigkeit vom Respirator und die damit verbundene Angst vor dem Verlust der Sicherheit durch die Maschine eine sehr wichtige Rolle beim Entwöhnungsprozess spielen [16, 27], benötigt man neben der Behandlung der physischen Probleme auch ein Mittel, um die psychischen Faktoren zu therapieren. Schönhofer bezeichnet dieses Problem als „Psychodrama“ [42], das sich durch Angst, Unsicherheit und Depression weiter verstärkt. Biofeedback könnte durch seine oben beschriebenen Eigenschaften bei diesem Prozess helfen.

In verschiedenen Studien – nämlich [1, 9–12, 19, 23–25] – wird Biofeedback als geeignetes Mittel beschrieben, um die Atemfrequenz zu senken und das Atemzugvolumen zu erhöhen. Diese Reaktionen wurden auf verschiedene Effekte des Biofeedbacks zurückgeführt – u. a. auf die Stärkung des Selbstvertrauens, die Reduktion von Angst, die Wiedererlangung der Kontrolle über die eigene Atmung sowie eine Veränderung der Arbeit des Atemzentrums in der Medulla oblongata.

Kapitel 3

Fragestellung

Ziel dieser Studie ist es, herauszufinden, ob Biofeedback einen signifikanten Einfluss auf die Selbstregulation der Atmung bei langzeitbeatmeten Intensivpatienten hat. Wir nehmen an, dass durch Biofeedback die Atemfrequenz gesenkt und konsekutiv das Atemzugvolumen normalisiert wird. Zusätzlich verändern sich Parameter wie Puls und Blutdruck.

Es sollten folgende Fragen beantwortet werden:

- Hilft Biofeedback, die Atemfrequenz zu senken?
- Kann mit Hilfe von Biofeedback die Herzfrequenz gesenkt bzw. normalisiert werden?
- Wird mit Biofeedback das Atemzugvolumen normalisiert?
- Kann das Atemminutenvolumen durch den Einsatz von Biofeedback gesenkt werden?

Kapitel 4

Material und Methoden

4.1 Patienten und biometrische Daten

Die Patienten, die an der Studie teilnahmen, wurden aus dem Kollektiv der Weaning-Station der Klinik für Innere Medizin B der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald anhand der im Folgenden näher beschriebenen Kriterien ausgewählt.

Einschlussbedingungen waren ein Patientenalter von über 18 Jahren, eine Beatmungsdauer von mehr als sieben Tagen mit gleichzeitiger Tracheotomie und die Zustimmung des Patienten oder seines Betreuers zur Teilnahme an der Studie.

Als Ausschlusskriterien galten neurologische oder psychiatrische Erkrankungen, wie z. B. Schädel-Hirn-Trauma, Schlaganfall, Hirntumor oder die Ablehnung durch den Patienten oder Betreuer.

Der Abbruch erfolgte, wenn sich ein Patient oder dessen Betreuer während der laufenden Studie einen Abbruch wünschte oder wenn der Patient während der Beobachtungsdauer dekanüliert werden konnte.

Insgesamt wurden konsekutiv 20 Patienten im Zeitraum von April 2006 bis Mai 2008 ausgewählt. Es nahmen 16 Männer und 4 Frauen an der Studie teil. Der jüngste Patient war 51 Jahre alt, der älteste 86 Jahre. Das Durchschnittsalter der Patienten lag bei 68 Jahren.

Das Studienprotokoll, der Aufklärungsbogen und das Formular zur schriftlichen Einverständniserklärung wurden der Ethikkommission der Ernst-Moritz-Arndt-Universität vorgelegt und von dieser akzeptiert. Die Studie befindet sich in Übereinstimmung mit den folgenden Richtlinien:

- Deklaration von Helsinki (Somerset West 1996);

- *Good clinical practice in the conduct of clinical trials on medicinal products for human use* (Brüssel, 20.06.1996, E6GCPD12/01May96);
- Berufsordnung für die deutschen Ärzte (*Dt. Ärzteblatt* 91 [10.01.1994], A 53–58);
- Standards der Klinik für Anästhesie und Intensivmedizin.

4.2 Generelle Informationen zu den Patienten

Die demographischen Daten, die gestellte Hauptdiagnose sowie die Beatmungsdauer aller Patienten sind in Tabelle 4.1, S. 14, dargestellt.

4.3 Hard- und Software

Zur Erfassung der Atembewegungen des Thorax und deren Übertragung in Töne wurde das Gerät *PHYSIORECORDER E* der Firma Schuhfried GmbH aus Potsdam benutzt. Dieses Gerät ist mit einem Brustgurt, einem Kopfhörer und einem Fingerclip ausgestattet. Der Brustgurt überträgt die Atembewegungen des Thorax an das Gerät, welches diese wiederum in an- und abschwellige Töne umwandelt, die der Patient über die Kopfhörer hört. Der Fingerclip wird an einem Finger befestigt und leitet von der Fingerkuppe die Hauttemperatur und den Hautwiderstand ab.

Alle so erfassten Daten werden über den Physiorecorder an einen Laptop übertragen und dort mit Hilfe der zugehörigen Software *BIOFEEDBACK 2000* der Firma Schuhfried GmbH sichtbar gemacht.

Herzfrequenz, Atemfrequenz und Atemzugvolumen werden während der Sitzung minütlich vom Beatmungsgerät des jeweiligen Patienten abgelesen. Der Blutdruck wird viermal pro Sitzung – zu den Zeitpunkten 0, 5, 15 und 20 – entweder direkt arteriell oder per Manschette gemessen.

Zur Erfassung der Daten dient *MICROSOFT EXCEL* und zur statistischen Auswertung werden die Programme *SIGMASTAT 3.1* und *SIGMAPLOT 9.0* der Firma Systat Software GmbH sowie *GRAPHPAD PRISM 4.03* der Firma GraphPad Software, Inc., verwendet.

4.4 Studienbeschreibung

Bei der Studie handelt es sich um eine Pilotstudie. Es lagen noch keine Vergleichsdaten vor, so dass eine Poweranalyse zur Ermittlung des Stichprobenumfangs nicht

Tab. 4.1: Generelle Informationen zu den Patienten

Patient	Geschlecht	Alter (y)	Hauptdiagnose	Beatmungsdauer bei Einschluss (d)
1	m	68	Pneumektomie rechts bei Asbestose, COPD	14
2	m	69	kardiale Dekompensation bei Kardiomyopathie	45
3	f	67	respiratorische Insuffizienz	30
4	f	86	Unterschenkelfraktur, LAE	30
5	m	73	stumpfes Thoraxtrauma, Pneumothorax	30
6	f	63	Bauchaortenruptur	158
7	m	72	Kombieingriff am Herz, kardiale Dekompensation	48
8	m	74	respiratorische Insuffizienz postoperativ	57
9	m	80	Zwerchfellparese beidseits	37
10	m	62	infektazerbierte COPD	46
11	m	69	respiratorische Globalinsuffizienz bei Lungenfibrose	37
12	m	69	Bronchialkarzinom, Lobektomie linker Oberlappen	38
13	m	55	COPD	98
14	m	60	respiratorische Insuffizienz postoperativ	34
15	m	72	Bridenileus	40
16	m	56	Pleurektomie bei Pleurakarzinose	43
17	f	73	akute gastrointestinale Blutung, Zwerchfellparese	136
18	m	51	SIRS, chronisch-respiratorische Insuffizienz	195
19	m	64	globale Herzinsuffizienz bei ethyltoxischer Kardiomyopathie	28
20	m	76	Aortenklappenersatz	38

durchgeführt werden konnte.

Die Studie wurde in mehrere Teile – nämlich die Einschlussuntersuchung, die Durchführung der Biofeedback-Sitzungen sowie die Abschlussuntersuchung – gegliedert. Auf

diese soll in den folgenden Abschnitten näher eingegangen werden.

4.4.1 Einschlussuntersuchung

Vor Beginn der Studie wurden die Patienten von einem Prüfarzt untersucht, der dann auch die Indikation zum Weaning stellte. Anhand der für die vorliegende Studie verwendeten Ein- und Ausschlusskriterien wurden die Patienten ausgewählt und über den Ablauf der Studie mündlich und schriftlich aufgeklärt. Bei Bereitschaft zur Teilnahme erfolgte dann die schriftliche Einverständniserklärung durch den Patienten oder dessen Betreuer.

4.4.2 Durchführung der Biofeedback-Sitzungen

Über sieben Tage wurden je zwei Sitzungen pro Tag durchgeführt. Diese fanden jeweils vormittags und abends statt.

Vor Beginn der Sitzung wurden dem Patienten ein als Atemsensor dienender Brustgurt, ein Fingerclip zur Messung des Hautwiderstandes und ein Kopfhörer aufgesetzt. Diese Geräte und der Laptop wurden an den Physiorecorder angeschlossen.

Eine Sitzung dauerte 20 Minuten, die sich wie folgt zusammensetzten: Die ersten fünf Minuten dienten der Aufzeichnung der Baseline der verschiedenen Parameter ohne Audio-Feedback, um Vergleichswerte zu haben. Dabei handelt es sich um die Messwerte 0–5 in den folgenden Diagrammen. In den nächsten zehn Minuten erfolgte das eigentliche Training mit akustischem Biofeedback, bei dem der Patient das Audiosignal hörte. Hierzu gehören die Messwerte 5–15. Die letzten fünf Minuten dienten der Nachbeobachtung der Parameter (Messwerte 15–20). Die 21 Messzeitpunkte stammen daher, dass der erste Messpunkt der Minute 0 entspricht; er wird als Zeitpunkt 0 bezeichnet.

Während der Sitzung wurden minütlich folgende Parameter anhand des jeweiligen Beatmungsgerätes bzw. des EKG-Monitors erfasst:

- Atemfrequenz;
- Atemzugvolumen;
- Atemminutenvolumen;
- Pulsfrequenz.

Zu den Zeitpunkten 0, 5, 15 und 20 wurde zusätzlich der Blutdruck gemessen.

4.5 Statistik

Die während der Sitzungen erhobenen Werte wurden digital gespeichert und mit den Statistikprogrammen SIGMASTAT 3.1 und SIGMAPLOT 9.0 der Firma Systat Software, Inc., sowie dem Programm GRAPHPAD PRISM 4.03 der Firma GraphPad Software, Inc., ausgewertet. Alle sonstigen Daten – z. B. Begleitmedikamente, Komplikationen oder Scores – wurden in EXCEL-Dateien aufgenommen.

Die Daten wurden als Mittelwerte mit Standardfehler angegeben und dargestellt.

Primär interessierte die Veränderung der Atemfrequenz während der Biofeedback-Sitzungen, jedoch wurden alle erhobenen Daten verglichen.

Der Vergleich der Mittelwerte erfolgte mit Hilfe der einfaktoriellen Varianzanalyse (One-way-ANOVA) und des Post-hoc *Dunnnett's Multiple Comparison Test*. Der Test auf Normalverteilung erfolgte mit dem *Shapiro-Wilk-Test*. Als Signifikanzschwelle wurde p mit $p < 0,05$ angesetzt.

Kapitel 5

Ergebnisse

Die Markierung des Zeitraums der Biofeedback-Sitzung umfasst insgesamt zehn Minuten. Die 21 Zeitpunkte rühren daher, dass Zeitpunkt 0 dem ersten Messzeitpunkt (Minute 0) entspricht.

5.1 Einzeldarstellungen

Im Folgenden werden exemplarisch die Verlaufskurven eines zufällig ausgewählten Patienten dargestellt. Dabei werden jeweils die Parameter Atemfrequenz, Herzfrequenz, Atemzugvolumen und Atemminutenvolumen für die erste und die letzte Sitzung sowie deren Mittelwerte für alle Sitzungen präsentiert.

5.1.1 Atemfrequenz

Die Atemfrequenzen des Patienten liegen anfangs noch bei 22 AZ/min, sinken dann im Verlauf während der Biofeedback-Sitzung von Zeitpunkt 5 bis Zeitpunkt 15 auf Werte um 19 AZ/min ab und steigen nach Beendigung des Feedbacktrainings allenfalls gering an. Der Mittelwert der Atemfrequenzen liegt während der ersten Sitzung bei 19,2 AZ/min. (Vgl. Abbildung 5.1)

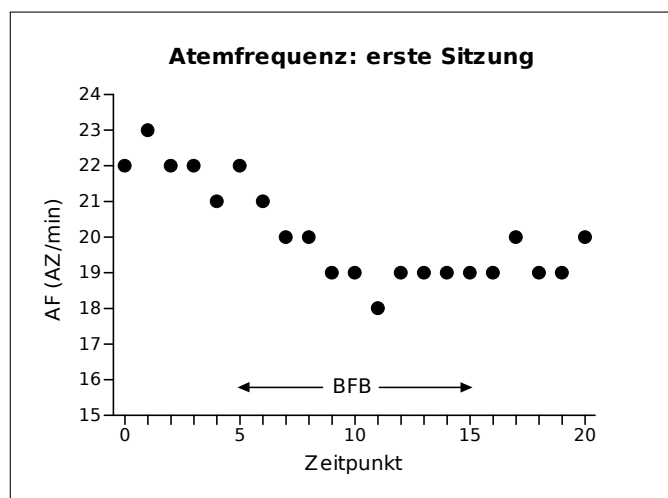


Abb. 5.1: Punktdiagramm zur Darstellung der Atemfrequenz (AF) während der ersten Biofeedback-Sitzung

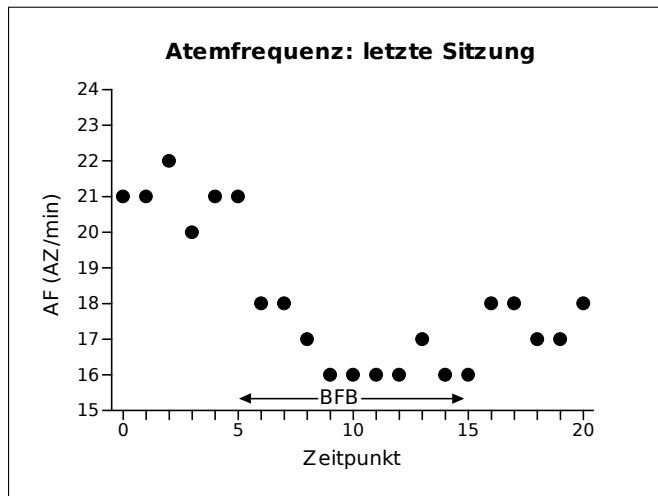


Abb. 5.2: Punktdiagramm zur Darstellung der Atemfrequenz (AF) während der letzten Biofeedback-Sitzung

Während der letzten Sitzung sinken die Atemfrequenzen auf – im Vergleich zur ersten Sitzung – deutlich niedrigere Werte ab. Nach Beendigung des Trainings steigen die Werte zwar wieder an, aber nicht auf das gleiche Niveau wie in der ersten Sitzung. Der Mittelwert der Atemfrequenzen liegt während der letzten Sitzung bei 18,1 AZ/min und ist damit niedriger als noch in der ersten Sitzung. (Vgl. Abbildung 5.2)

In der Darstellung der Atemfrequenzen aller Sitzungen dieses Patienten (siehe Abbildung 5.3) sieht man ab Zeitpunkt 6 einen statistisch signifikanten Abfall der Atemfrequenzen von anfangs 22 AZ/min auf 18 AZ/min bis 19 AZ/min während der Biofeedback-Sitzungen. Nach Beendigung des Trainings kommt es zu einem nur leichten Wiederanstieg um ca. 1 AZ/min.

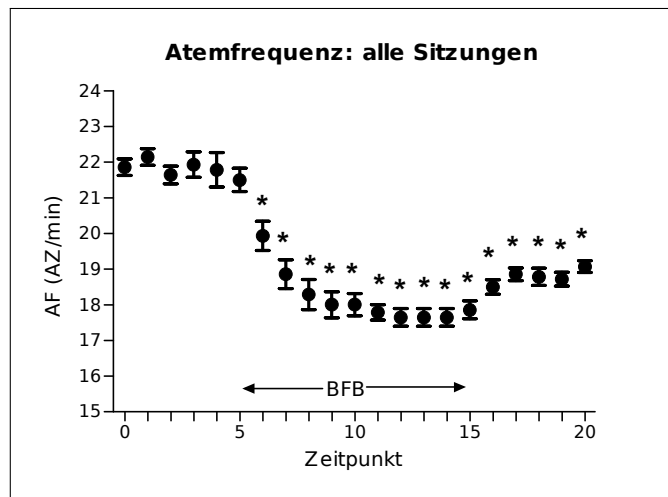


Abb. 5.3: Punktdiagramm mit Angabe des Standardfehlers zur Darstellung der Atemfrequenz (AF) während aller Biofeedback-Sitzungen (* kennzeichnet den statistisch signifikanten Unterschied mit $p < 0,05$ im Vergleich zu Zeitpunkt 5)

5.1.2 Herzfrequenz

Betrachtet man die Herzfrequenz des ausgewählten Patienten während der ersten Sitzung (siehe Abbildung 5.4), lässt sich keine große Schwankungsbreite feststellen. Sie variiert zwischen anfangs 78 HS/min und 76 HS/min zum Ende des Biofeedback-Trainings zu den Zeitpunkten 10–14.

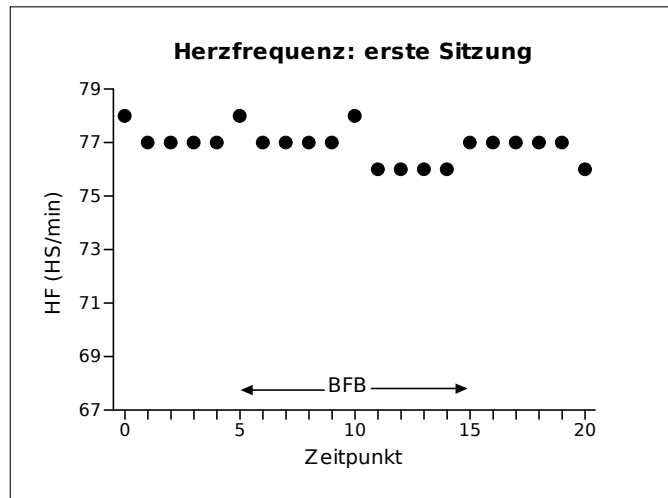


Abb. 5.4: Punktdiagramm zur Darstellung der Herzfrequenz (*HF*) während der ersten Biofeedback-Sitzung

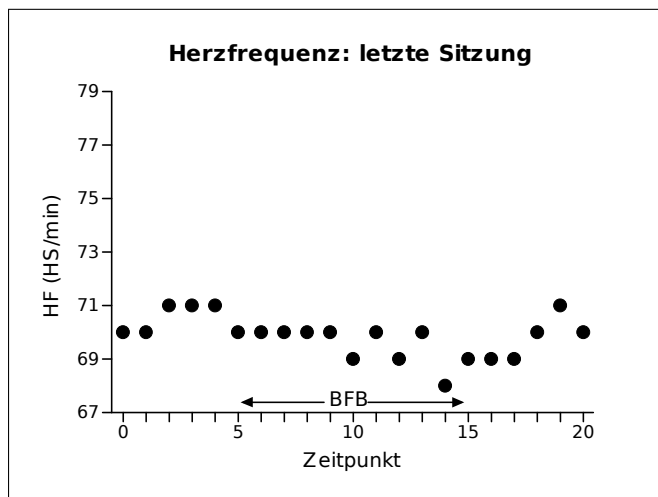


Abb. 5.5: Punktdiagramm zur Darstellung der Herzfrequenz (*HF*) während der letzten Biofeedback-Sitzung

Die Herzfrequenz während der letzten Sitzung schwankt in einem Bereich von 71 HS/min bis 68 HS/min, was einem niedrigeren Niveau als noch in der ersten Sitzung entspricht. Ebenfalls gegen Ende der Biofeedback-Sitzung – ab Zeitpunkt 10 – kommt es zu einem leichten Abfall der Herzfrequenz von 70 HS/min auf 68 HS/min bis 69 HS/min; sie steigt jedoch zum Ende der gesamten Sitzung wieder auf 70 HS/min an. (Vgl. Abbildung 5.5)

Betrachtet man die Herzfrequenzen während aller Sitzungen (siehe Abbildung 5.6), so fällt auf, dass diese sich im Mittel um 72 HS/min bis 73 HS/min bewegen und auch während des Biofeedback-Trainings keine statistisch signifikante Veränderung zeigen.

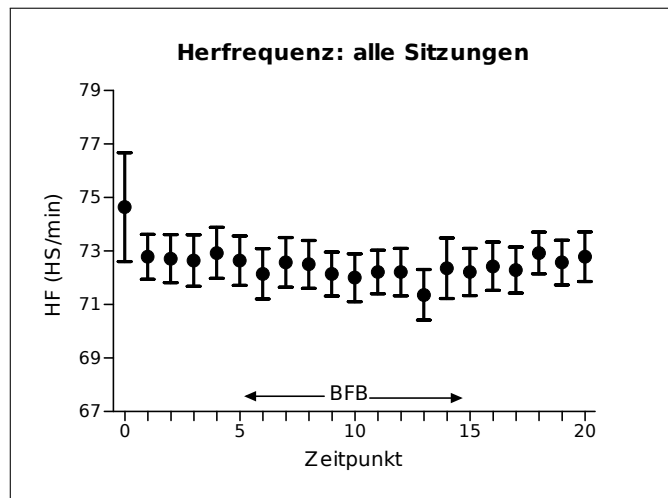


Abb. 5.6: Punktdiagramm mit Angabe des Standardfehlers zur Darstellung der Herzfrequenz (HF) während aller Biofeedback-Sitzungen

5.1.3 Atemzugvolumen

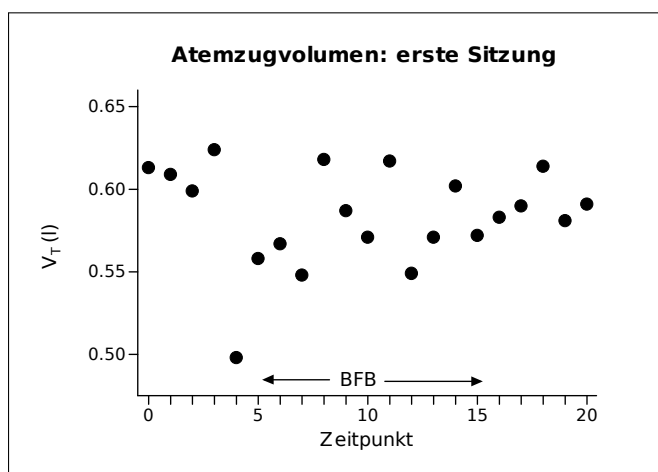


Abb. 5.7: Punktdiagramm zur Darstellung des Atemzugvolumens (V_T) während der ersten Biofeedback-Sitzung

Das Atemzugvolumen unterliegt während der ersten Sitzung Schwankungen im Bereich von 0,625 l bis 0,5 l. Jedoch ist keine Veränderung des Wertes in Abhängigkeit von der Durchführung der Biofeedback-Sitzung zu erkennen. (Vgl. Abbildung 5.7)

Während der letzten Sitzung steigt das Atemzugvolumen von Werten von 0,56 l bis 0,6 l während der ersten fünf Minuten der Sitzung auf Werte von 0,615 l bis 0,65 l nach Beginn des Biofeedback-Trainings. Auch nach dessen Ende kommt es nicht zu einem Abfall des Atemzugvolumens. (Vgl. Abbildung 5.8)

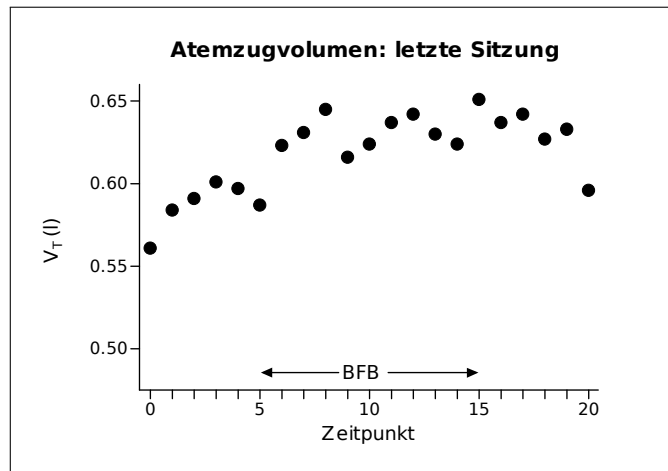


Abb. 5.8: Punktdiagramm zur Darstellung des Atemzugvolumens (V_T) während der letzten Biofeedback-Sitzung

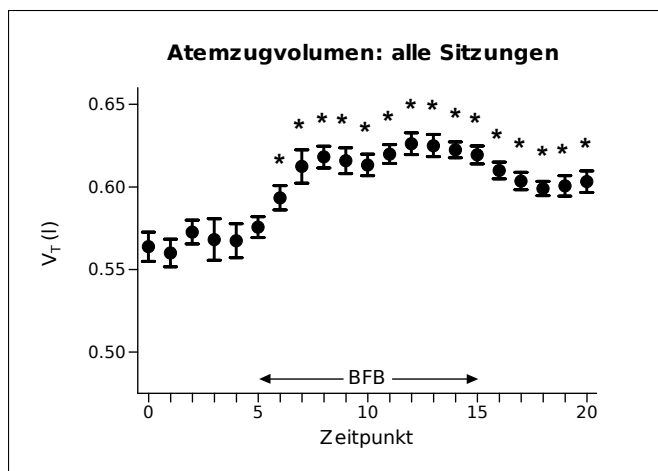


Abb. 5.9: Punktdiagramm mit Angabe des Standardfehlers zur Darstellung des Atemzugvolumens (V_T) während aller Biofeedback-Sitzungen (* kennzeichnet den statistisch signifikanten Unterschied mit $p < 0,05$ im Vergleich zu Zeitpunkt 5)

Das Atemzugvolumen dieses ausgewählten Patienten bewegt sich vor Beginn des Biofeedback-Trainings um 0,57 l, steigt dann aber an. Ab Zeitpunkt 6 gibt es einen statistisch signifikanten Unterschied zu den Werten ohne Biofeedback. Die Werte liegen dann bei ca. 0,62 l und sinken auch nach Beendigung des Trainings nur noch leicht ab, unterscheiden sich aber immer noch statistisch signifikant von den Werten vor Beginn des Trainings. (Vgl. Abbildung 5.9)

5.1.4 Atemminutenvolumen

Das Atemminutenvolumen des Patienten liegt während der ersten Sitzung anfangs bei Werten zwischen 13 l/min und 14 l/min. Ab Zeitpunkt 5 beginnt es, auf niedrigere Werte zu fallen, bis es sich nach fünf Minuten Biofeedback-Training – also ab Zeitpunkt 10 – auf ca. 11 l/min eingepegelt hat. Auch nach Beendigung des Biofeedbacks steigt es nur noch unwesentlich und bleibt bei Werten unter 12 l/min. (Vgl. Abbildung 5.10)

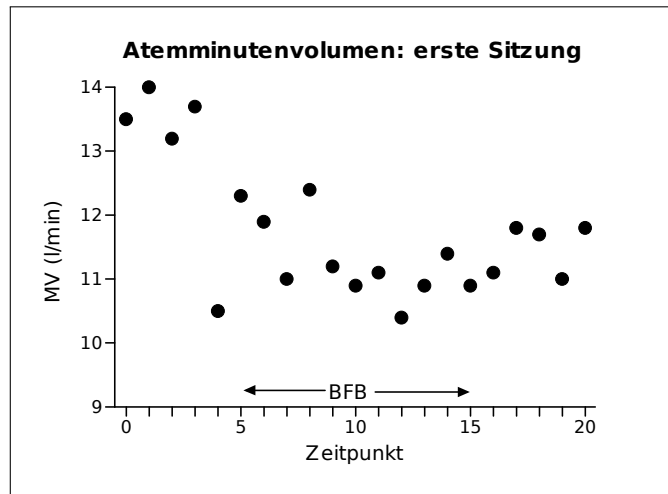


Abb. 5.10: Punktdiagramm zur Darstellung des Atemminutenvolumens (MV) während der ersten Biofeedback-Sitzung

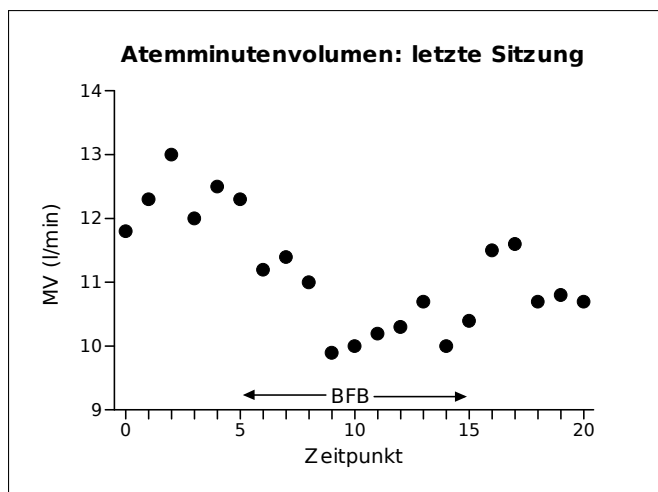


Abb. 5.11: Punktdiagramm zur Darstellung des Atemminutenvolumens (MV) während der letzten Biofeedback-Sitzung

Das Atemminutenvolumen des ausgesuchten Patienten während der letzten Sitzung bewegt sich vor Beginn des Trainings bei Werten von 12 l/min bis 13 l/min. Ab Zeitpunkt 6 kommt es zu einem Abfall der Werte auf 10 l/min bis 11 l/min. Nach Beendigung des Trainings kommt es zu einem leichten Wiederanstieg, ohne dass jedoch das vorherige Niveau wieder erreicht wird. (Vgl. Abbildung 5.11)

Das Atemminutenvolumen liegt in den ersten fünf Minuten ohne Biofeedback-Training bei 12,3 l/min bis 12,4 l/min. Ab Zeitpunkt 7 kommt es zu einem statistisch signifikanten Abfall des Atemminutenvolumens bis zum Ende der Aufzeichnung. Die Werte liegen dann um 11 l/min und steigen nach Beendigung des Trainings nur leicht wieder an. (Vgl. Abbildung 5.12)

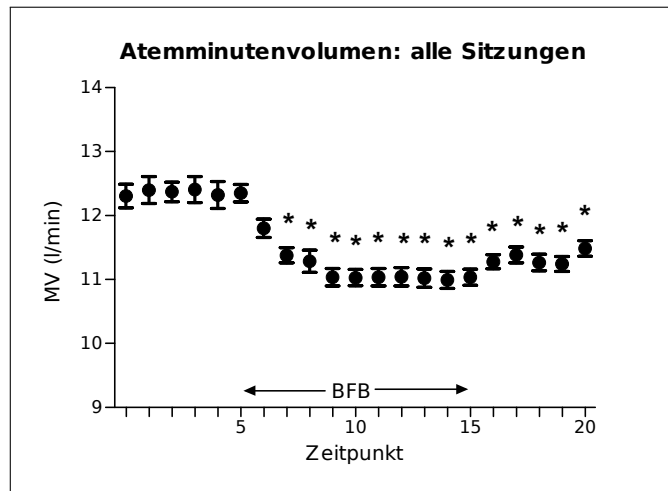
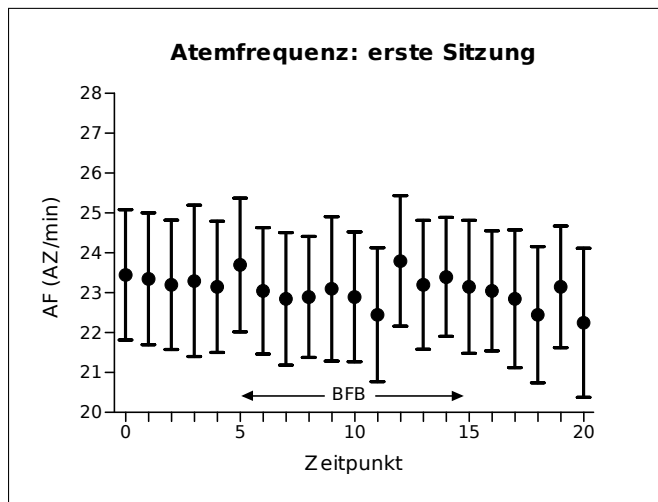


Abb. 5.12: Punktdiagramm mit Angabe des Standardfehlers zur Darstellung des Atemminutenvolumens (MV) während aller Biofeedback-Sitzungen (* kennzeichnet den statistisch signifikanten Unterschied mit $p < 0,05$ im Vergleich zu Zeitpunkt 5)

5.2 Gesamtdarstellung

In den folgenden Diagrammen soll gezeigt werden, wie sich die einzelnen Parameter im Laufe der Therapie in der gesamten Gruppe der Patienten verändern. Hierzu werden Diagramme für die erste und die letzte Sitzung sowie für alle Sitzungen verwendet. Die Daten werden als Mittelwert mit Standardfehler dargestellt und als Mittelwerte aus den Daten aller Patienten zu den jeweiligen Zeitpunkten gebildet. Zusätzlich zum Mittelwert werden die Standardfehler angegeben.

5.2.1 Atemfrequenz



Während der ersten Sitzung bewegt sich die Atemfrequenz bei allen Patienten im Mittel im Bereich von 22 AZ/min bis 24 AZ/min. Von Zeitpunkt 5 bis Zeitpunkt 15 erfolgte das Biofeedback-Training. Während der ersten Sitzung war keine statistisch signifikante Änderung der Atemfrequenzen festzustellen. (Vgl. Abbildung 5.13)

Abb. 5.13: Punktdiagramm mit Angabe des Standardfehlers zur Darstellung der Atemfrequenz (AF) während der jeweils ersten Biofeedback-Sitzung

Beim Vergleich der Atemfrequenzen während der letzten Sitzung sind zwei statistisch signifikante Werte bei Zeitpunkt 11 und Zeitpunkt 14 im Vergleich zu Zeitpunkt 5 auffällig. Lagen die Werte anfangs noch bei 25 AZ/min bis 26 AZ/min, fallen sie während der Biofeedback-Sitzung auf bis zu 23,5 AZ/min ab. Nach Beendigung des Biofeedbacks – also ab Zeitpunkt 15 – steigen die Atemfrequenzen wieder leicht an. (Vgl. Abbildung 5.14)

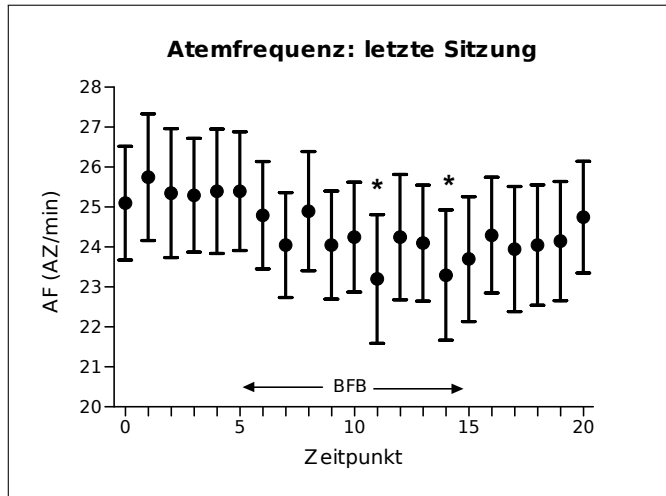


Abb. 5.14: Punktdiagramm mit Angabe des Standardfehlers zur Darstellung der Atemfrequenz (*AF*) während der jeweils letzten Biofeedback-Sitzung (* kennzeichnet den statistisch signifikanten Unterschied mit $p < 0,05$ im Vergleich zu Zeitpunkt 5)

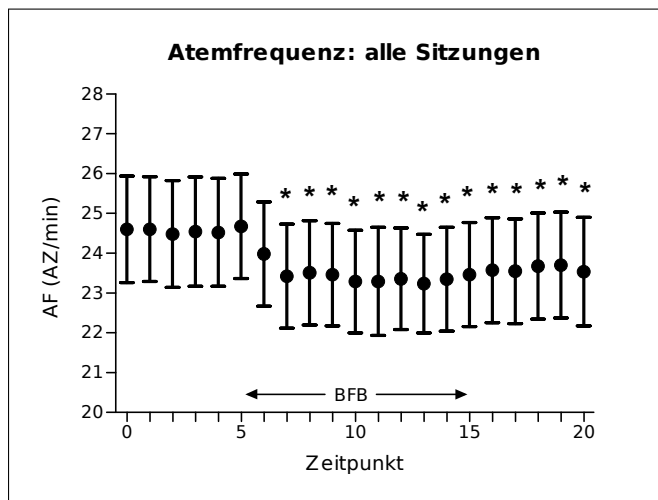


Abb. 5.15: Punktdiagramm mit Angabe des Standardfehlers zur Darstellung der Atemfrequenz (*AF*) während aller Biofeedback-Sitzungen (* kennzeichnet den statistisch signifikanten Unterschied mit $p < 0,05$ im Vergleich zu Zeitpunkt 5)

Noch deutlicher werden diese Veränderungen, wenn man die Mittelwerte aller Patienten während aller 14 Sitzungen vergleicht. Hier findet sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Zeitpunkt 5 und den Zeitpunkten 7 bis 20. Dabei handelt es sich um einen Abfall der Atemfrequenz um ca. 1 AZ/min von 24,5 AZ/min auf dann 23,5 AZ/min. Diese Veränderung bleibt auch noch nach Beendigung des Biofeedback-Trainings zu den Zeitpunkten 16 bis 20 bestehen. (Vgl. Abbildung 5.15)

5.2.2 Herzfrequenz

Während der ersten Sitzung schwanken die Mittelwerte für die Herzfrequenz um 84 HS/min bis 86 HS/min. Während des Biofeedback-Trainings ist von Zeitpunkt 5 bis Zeitpunkt 15 kein statistisch signifikanter Unterschied zu den Werten vor Beginn des Trainings zu erkennen. Auch gibt es nach Zeitpunkt 15 keinen signifikanten Anstieg oder Abfall der Herzfrequenz. (Vgl. Abbildung 5.16)

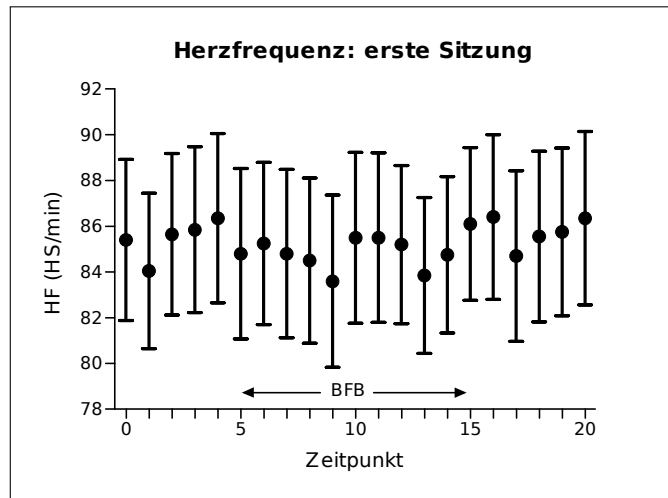


Abb. 5.16: Punktdiagramm mit Angabe des Standardfehlers zur Darstellung der Herzfrequenz (HF) während der jeweils ersten Biofeedback-Sitzung

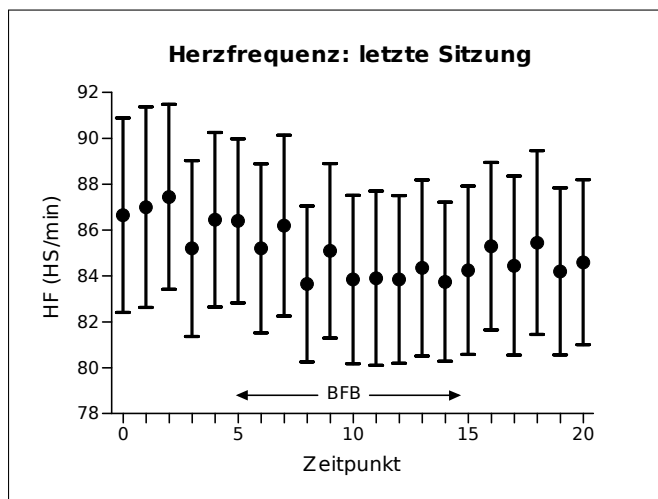


Abb. 5.17: Punktdiagramm mit Angabe des Standardfehlers zur Darstellung der Herzfrequenz (HF) während der jeweils letzten Biofeedback-Sitzung

Während der letzten Sitzung sieht man zwar einen allgemeinen Abfall der Frequenzen von anfangs 86 HS/min bis 87 HS/min auf später 84 HS/min bis 85 HS/min, dieser ist jedoch nicht statistisch signifikant. (Vgl. Abbildung 5.17)

Bei der Betrachtung der Herzfrequenzen aller Patienten in allen Sitzungen fällt auf, dass diese sich im Mittel um 85 HS/min bewegen. Jedoch gibt es keinen statistisch signifikanten Abfall oder Anstieg während der Biofeedback-Sitzungen. (Vgl. Abbildung 5.18)

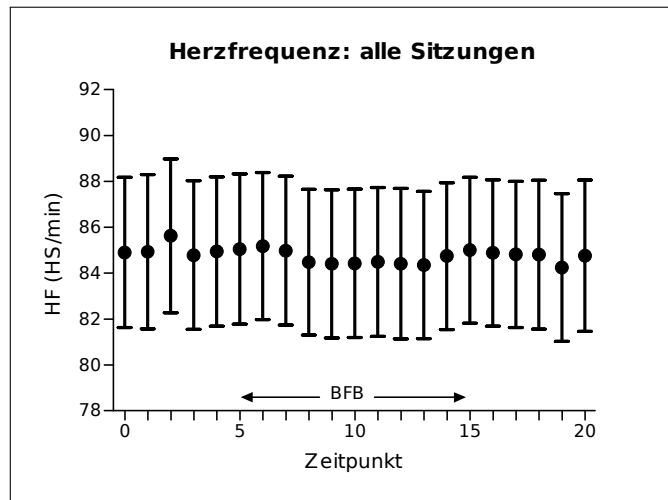


Abb. 5.18: Punktdiagramm mit Angabe des Standardfehlers zur Darstellung der Herzfrequenz (HF) während aller Biofeedback-Sitzungen

5.2.3 Atemzugvolumen

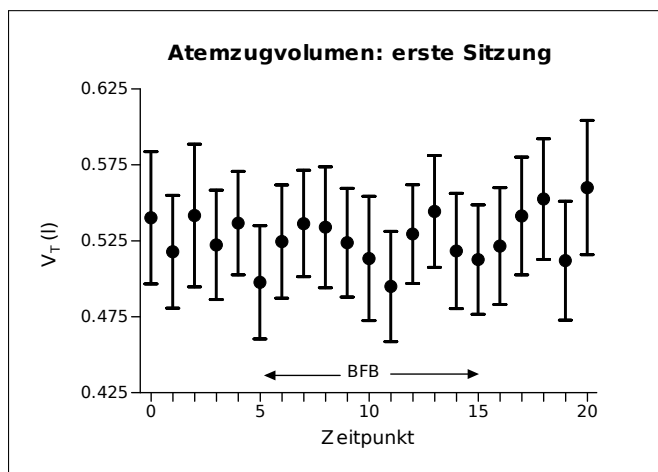


Abb. 5.19: Punktdiagramm mit Angabe des Standardfehlers zur Darstellung des Atemzugvolumens (V_T) während der jeweils ersten Biofeedback-Sitzung

Das Atemzugvolumen aller Patienten schwankt während der gesamten ersten Sitzung ohne statistisch signifikante Veränderung im Mittel zwischen 0,5 l und 0,55 l. Eine Veränderung in Abhängigkeit von Anfang oder Ende der Biofeedback-Sitzung ist allerdings nicht erkennbar. (Vgl. Abbildung 5.19)

Das mittlere Atemzugvolumen bewegt sich bei allen Patienten während der letzten Sitzung im Mittel in einem Bereich von 0,475 l bis 0,513 l. Eine statistische Signifikanz lässt sich nicht erkennen, auch wenn von Zeitpunkt 8 bis Zeitpunkt 11 – also während des Biofeedback-Trainings – die Werte eher im unteren Bereich liegen. (Vgl. Abbildung 5.20)

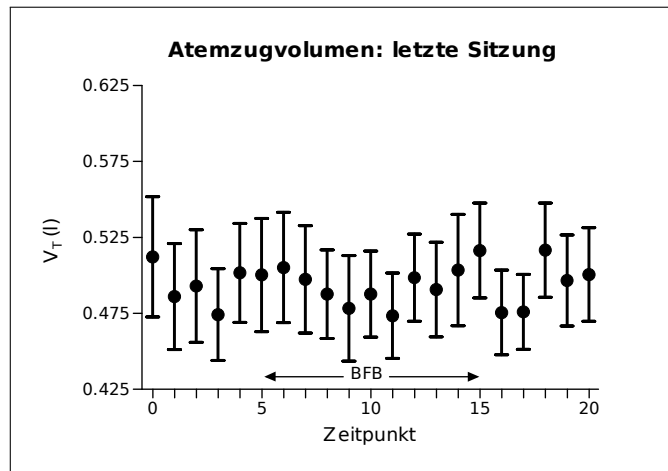


Abb. 5.20: Punktdiagramm mit Angabe des Standardfehlers zur Darstellung des Atemzugvolumens (V_T) während der jeweils letzten Biofeedback-Sitzung

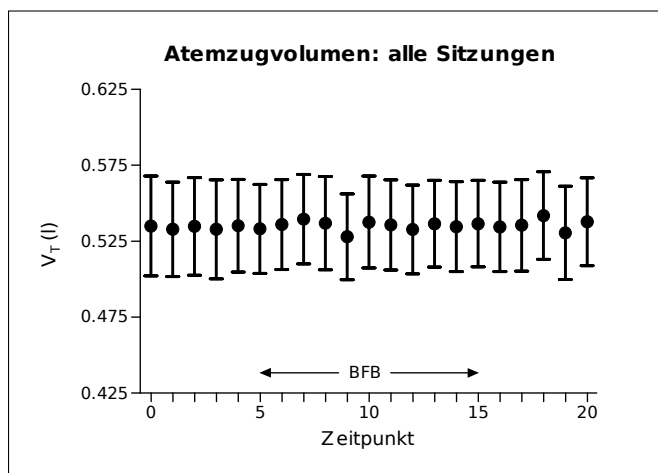


Abb. 5.21: Punktdiagramm mit Angabe des Standardfehlers zur Darstellung des Atemzugvolumens (V_T) während aller Biofeedback-Sitzungen

Das mittlere Atemzugvolumen aller Patienten während aller Sitzungen liegt etwa bei 0,53 l bis 0,54 l. Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Werten lässt sich nicht erkennen. (Vgl. Abbildung 5.21)

5.2.4 Atemminutenvolumen

Während der ersten Sitzung bewegen sich bei allen Patienten die Werte für das Atemminutenvolumen im Durchschnitt zwischen 11,5 l/min und 10,3 l/min (siehe Abbildung 5.22). Ein statistisch signifikanter Unterschied ist nicht zu sehen. Jedoch kommt es sowohl zu Zeitpunkt 5 als auch zu den Zeitpunkten 10 und 11 – also während des Biofeedback-Trainings – zu einem Abfall des Atemminutenvolumens auf Werte im unteren Bereich.

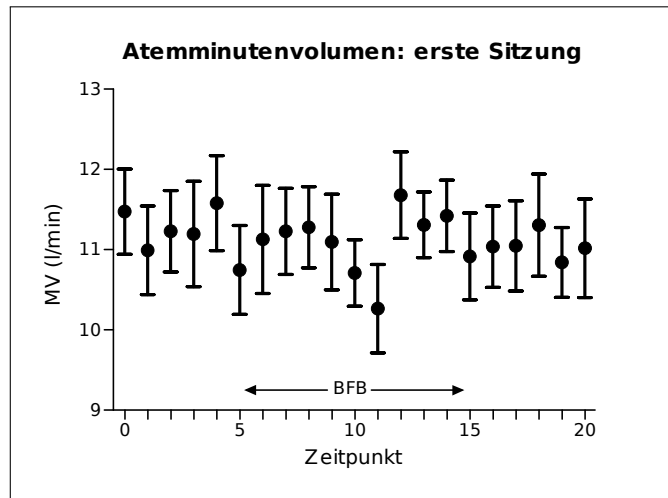


Abb. 5.22: Punktdiagramm mit Angabe des Standardfehlers zur Darstellung des Atemminutenvolumens (MV) während der jeweils ersten Biofeedback-Sitzung

Danach sind aber wieder Werte im oberen Bereich zu messen.

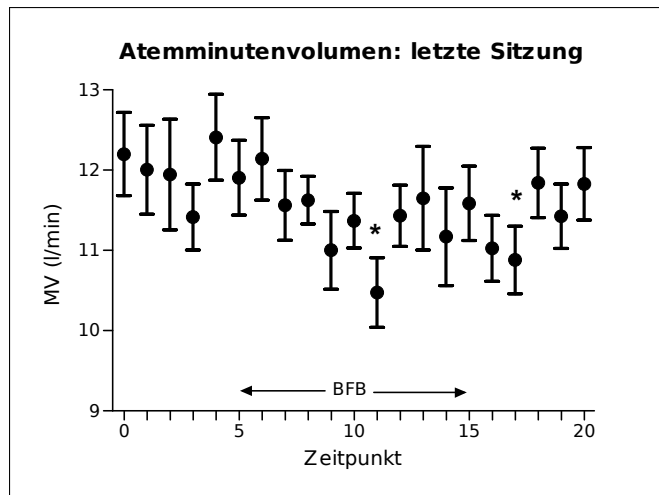


Abb. 5.23: Punktdiagramm mit Angabe des Standardfehlers zur Darstellung des Atemminutenvolumens (MV) während der letzten Biofeedback-Sitzungen (* kennzeichnet den statistisch signifikanten Unterschied mit $p < 0,05$ im Vergleich zu Zeitpunkt 5)

Das mittlere Atemminutenvolumen aller Patienten während der letzten Sitzung liegt zwischen 12,5 l/min und 10,5 l/min. Anfangs werden Volumina um 12 l/min aufgezeichnet, die nach Beginn des Biofeedback-Trainings deutlich absinken. Zu den Zeitpunkten 11 und 17 ist ein statistisch signifikanter Unterschied im Vergleich zu Zeitpunkt 5 nachweisbar. Nach Beendigung des Trainings steigen die Werte zwar wieder leicht an, jedoch bleiben sie noch unterhalb des Ausgangsniveaus. (Vgl. Abbildung 5.23)

Das mittlere Atemminutenvolumen aller Patienten während aller Sitzungen liegt in den ersten fünf Minuten bei Werten um 12 l/min bis 12,2 l/min. Nach Beginn des Biofeedbacks kommt es zu einem deutlichen Abfall auf Werte um 11,5 l/min bis 11,7 l/min, der von Zeitpunkt 9 bis Zeitpunkt 14 und zu Zeitpunkt 16 statistisch signifikant wird. Nach Ende des Trainings kommt es nur zu einem leichten Wiederanstieg des Atemminutenvolumens; die Werte bleiben jedoch mit 11,7 l/min bis 11,8 l/min deutlich unter dem Ausgangsniveau. (Vgl. Abbildung 5.24)

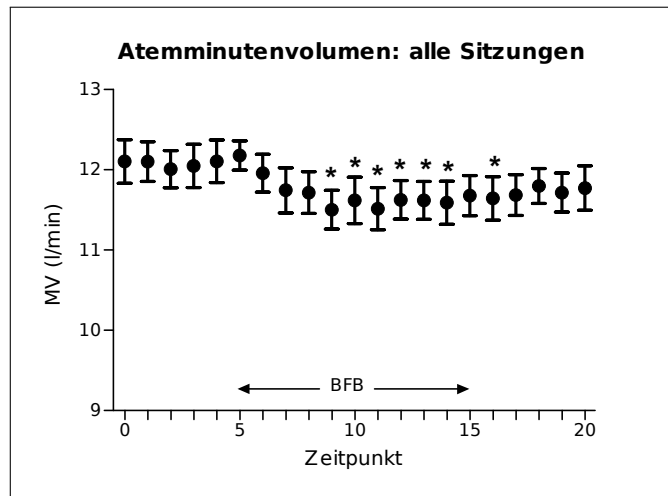


Abb. 5.24: Punktdiagramm mit Angabe des Standardfehlers zur Darstellung des Atemminutenvolumens (MV) während aller Biofeedback-Sitzungen (* kennzeichnet den statistisch signifikanten Unterschied mit $p < 0,05$ im Vergleich zu Zeitpunkt 5)

5.3 Regressionsanalysen

5.3.1 Herzfrequenz/Atemfrequenz

Die folgenden Abbildungen zeigen den Zusammenhang zwischen Herzfrequenz und Atemfrequenz aller Patienten zu den jeweiligen Zeitpunkten. Die einzelnen Werte der Atem- und Herzfrequenzen sind als Mittelwerte aus den Mittelwerten aller Patienten gebildet. Zusätzlich abgebildet ist die Regressionsgerade, die den Zusammenhang zwischen den beiden Parametern veranschaulicht.

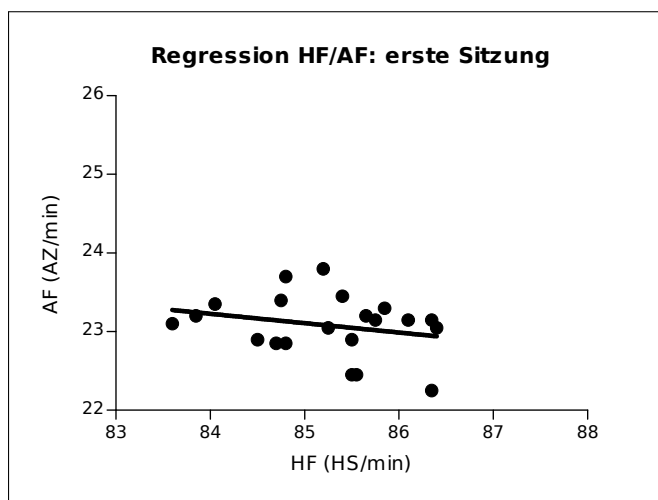


Abb. 5.25: Punktwolke und Regressionsgerade zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Atemfrequenz AF (AZ/min) und Herzfrequenz HF (HS/min) zu 21 Zeitpunkten während der jeweils ersten Sitzung (Korrelationskoeffizient nach Pearson $r = -0,25$)

ist damit nicht statistisch signifikant.

Während der ersten Sitzung lässt sich kein Zusammenhang zwischen Herzfrequenz und Atemfrequenz zu den einzelnen Zeitpunkten darstellen (siehe Abbildung 5.25). Der Korrelationskoeffizient ist negativ, was einen gegensinnigen Zusammenhang vermuten lässt: Bei steigender Herzfrequenz nimmt die Atemfrequenz ab. Aufgrund der geringen Größe des Korrelationskoeffizienten besteht jedoch kein sehr starker Zusammenhang zwischen den beiden ausgewählten Variablen.

Der p -Wert beträgt $p = 0,27$ und

Die Regression von Herz- und Atemfrequenz während der letzten Sitzung zeigt nun einen positiven und wesentlich stärkeren Zusammenhang (siehe Abbildung 5.26): Steigt die Herzfrequenz, so steigt auch die Atemfrequenz an. Der Korrelationskoeffizient liegt nun mit $r = 0,7$ wesentlich näher an 1; deshalb ist der Zusammenhang als stärker zu bewerten.

Der p -Wert der Daten der jeweils letzten Sitzung beträgt $p = 0,0004$ und ist damit statistisch signifikant.

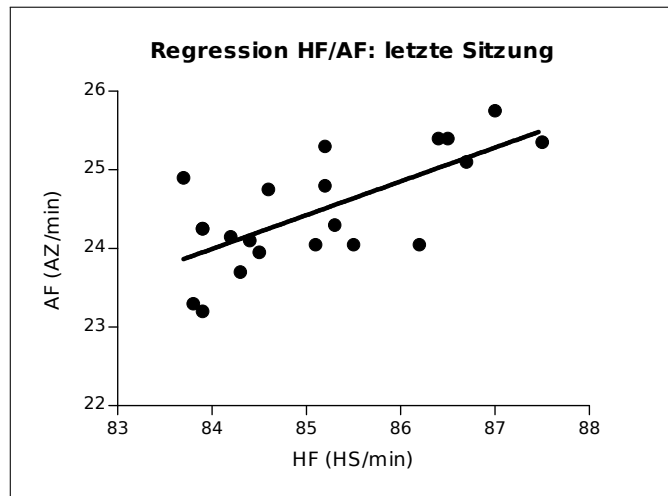


Abb. 5.26: Punktwolke und Regressionsgerade zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Atemfrequenz AF (AZ/min) und Herzfrequenz HF (HS/min) zu 21 Zeitpunkten während der jeweils letzten Sitzung (Korrelationskoeffizient nach Pearson $r = 0,7$)

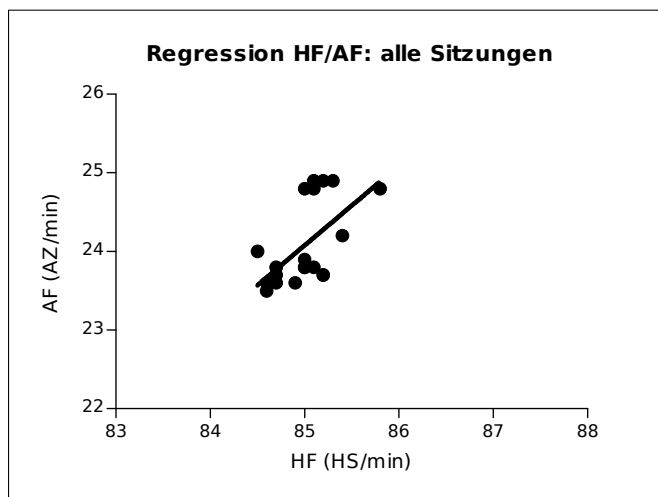


Abb. 5.27: Punktwolke und Regressionsgerade zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Atemfrequenz AF (AZ/min) und Herzfrequenz HF (HS/min) zu 21 Zeitpunkten während aller Sitzungen (Korrelationskoeffizient nach Pearson $r = 0,6$)

Betrachtet man die Regression von Herzfrequenz und Atemfrequenz über alle Sitzungen (siehe Abbildung 5.27), so fällt ein gleichsinniger Zusammenhang auf – steigt also die Herzfrequenz, so steigt auch die Atemfrequenz. Der Korrelationskoeffizient r beträgt $r = 0,6$; somit ist ein relativ starker Zusammenhang zwischen den beiden Größen anzunehmen.

Der p -Wert der Daten aller Sitzungen beträgt $p = 0,004$ und ist damit ebenfalls statistisch signifikant.

5.3.2 Herzfrequenz/Atemzugvolumen

Im Folgenden wird der Zusammenhang zwischen Herzfrequenz und Atemzugvolumen aller Patienten zu den verschiedenen Zeitpunkten in Form von Regressionsanalysen dargestellt. Wie auch schon in Abschnitt 5.1.3 ergeben sich die Werte der Herzfrequenzen und der Atemzugvolumina aus den Mittelwerten aller Patienten zu den jeweiligen Zeitpunkten. Die Regressionsgerade soll den Zusammenhang zusätzlich veranschaulichen.

Im Verlauf der ersten Sitzung unterscheidet sich die Regressionsgerade kaum von einer Waagerechten; der Korrelationskoeffizient nach Pearson ist mit $r = 0,05$ sehr klein (siehe Abbildung 5.28). Es besteht also nur ein sehr geringer Zusammenhang zwischen dem Atemzugvolumen und der Herzfrequenz. Der leichte Anstieg der Regressionsgeraden zeigt, dass dieser Zusammenhang gleichsinnig ist – nimmt also die Herzfrequenz zu, so steigt auch das Atemzugvolumen.

Eine statistische Signifikanz lässt sich mit einem p -Wert von $p = 0,82$ nicht nachweisen.

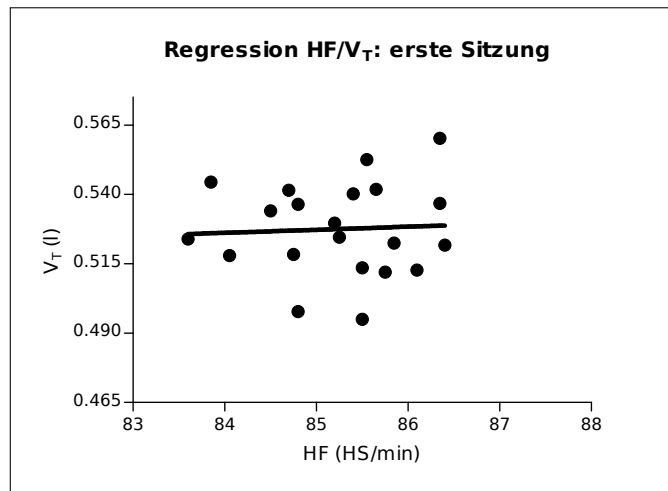


Abb. 5.28: Punktwolke und Regressionsgerade zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Atemzugvolumen V_T (l) und Herzfrequenz HF (HS/min) zu 21 Zeitpunkten während der jeweils ersten Sitzung (Korrelationskoeffizient nach Pearson $r = 0,05$)

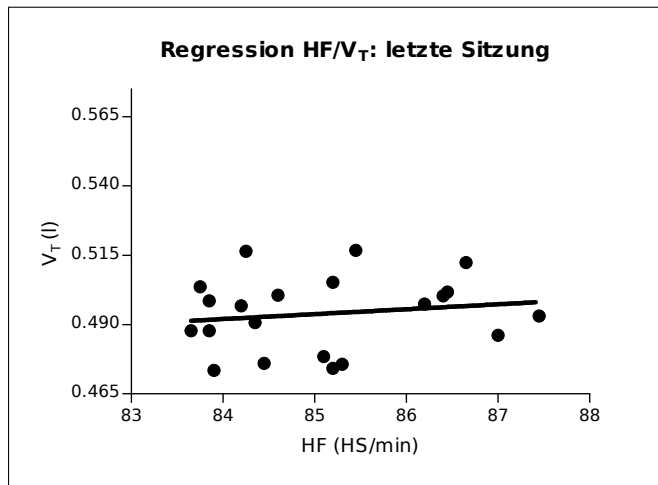


Abb. 5.29: Punktwolke und Regressionsgerade zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Atemzugvolumen V_T (l) und Herzfrequenz HF (HS/min) zu 21 Zeitpunkten während der jeweils letzten Sitzung (Korrelationskoeffizient nach Pearson $r = 0,16$)

Während der letzten Sitzung besteht bei allen Patienten ebenfalls ein gleichsinniger Zusammenhang zwischen Atemzugvolumen und Herzfrequenz (siehe Abbildung 5.29). Jedoch ist dieser auch hier schwach, da der Korrelationskoeffizient nach Pearson mit $r = 0,16$ einen niedrigen Wert aufweist.

Auch während der letzten Sitzung fand sich kein statistisch signifikanter Unterschied; der p -Wert beträgt $p = 0,5$.

Betrachtet man nun die Regressionsanalyse für Atemzugvolumen und Herzfrequenz über alle Sitzungen (siehe Abbildung 5.30), so fällt ein gleichsinniger und – anders als bei den beiden vorherigen Analysen – relativ starker Zusammenhang auf. Dies zeigt auch der Korrelationskoeffizient nach Pearson, der hier $r = 0,3$ beträgt.

Eine statistische Signifikanz lässt sich mit einem p -Wert von $p = 0,18$ nicht nachweisen.

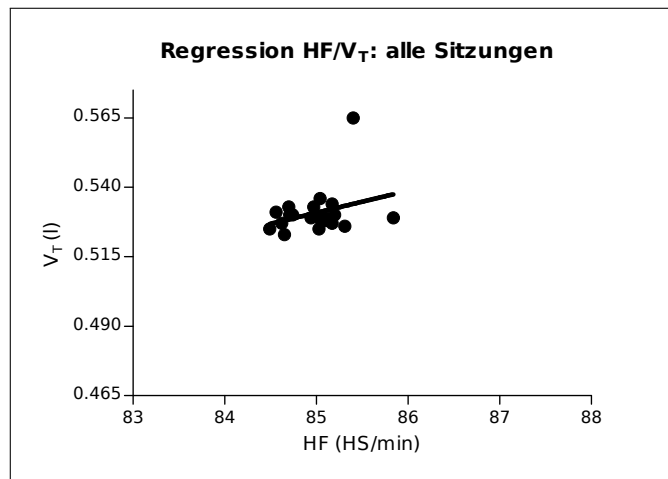


Abb. 5.30: Punktwolke und Regressionsgerade zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Atemzugvolumen V_T (l) und Herzfrequenz HF (HS/min) zu 21 Zeitpunkten während aller Sitzungen (Korrelationskoeffizient nach Pearson $r = 0,3$)

Kapitel 6

Diskussion

6.1 Wesentliche Ergebnisse

Die Studie hatte das Ziel, herauszufinden, welche Parameter sich durch den Einsatz von akustischem Biofeedback beim Weaning von langzeitbeatmeten Intensivpatienten beeinflussen lassen. Dabei war die Atemfrequenz als zentraler Parameter von Interesse. Diese konnte während des Trainings mit Hilfe von Biofeedback statistisch signifikant im Vergleich zur Baseline gesenkt werden. Dieser Effekt blieb auch nach Beendigung des Trainings bis zum Ende der Sitzung bestehen.

Auch das mittlere Atemminutenvolumen aller Patienten konnte statistisch signifikant zwischen Zeitpunkt 10 und Zeitpunkt 15 gesenkt werden. Nach Beendigung des Biofeedback-Trainings stieg es nur leicht wieder an.

Die Regressionsanalyse der Herzfrequenzen und Atemfrequenzen zeigte mit einem Korrelationskoeffizienten nach Pearson von $r = 0,6$ einen deutlichen Zusammenhang zwischen den beiden Parametern. Steigt also die Herzfrequenz an, so steigt auch die Atemfrequenz. Dieses Ergebnis war statistisch signifikant.

6.2 Atemfrequenz

Wie bereits eingangs erwähnt, war es ein Ziel dieser Studie, herauszufinden, ob mittels Biofeedback die Atemfrequenz der Patienten gesenkt werden kann. Betrachtet man die Mittelwerte aller Patienten während der ersten Biofeedback-Sitzung, so fällt keine statistisch signifikante Veränderung der Atemfrequenz auf. Die Werte liegen zwischen 22 AZ/min und 24 AZ/min und sprechen damit für eine Tachypnoe, wie man sie bei schwierig zu entwöhnenden Patienten häufig beobachtet. Während der ersten Sitzung

kam es noch nicht zu einem Effekt des Biofeedbacks; dieser stellte sich meist erst nach einigen Sitzungen ein. Dies ist damit zu erklären, dass Biofeedback auf dem Mechanismus der operanten Konditionierung beruht [45].

Betrachtet man die Atemfrequenzen aller Patienten zu allen Sitzungen, so fällt ein statistisch signifikanter Abfall der Atemfrequenzen nach Beginn der Biofeedback-Sitzungen auf, der auch nach Beendigung bestehen bleibt. Biofeedback scheint also eine atemfrequenzmodulierende Wirkung zu haben. Diese kann auf verschiedenen Mechanismen beruhen: Die Patienten erlangen im Verlauf des Weaning-Prozesses die Kontrolle über die eigene Atmung wieder und erleben dadurch die Selbstwirksamkeit. Durch Stärkung des Selbstvertrauens wird die Angst vor der Abhängigkeit vom Respirator vermindert, was zu einer Verminderung der Atemfrequenz führt. [8, 39]

Auch könnte durch die Durchführung der Biofeedback-Sitzungen eine Entspannung im Sinne einer Dämpfung des Sympathikus und eines Überwiegens des Parasympathikus erreicht werden [41]. Dies würde ebenfalls eine Reduktion der Atemfrequenz erklären. So bestätigen auch Corson et. al. in ihrem Fallbericht über zwei Patienten [11] die atemfrequenzmodulierende Wirkung des Biofeedbacks. Bei ihren Patienten war bei der Anwendung von – allerdings visuellem – Biofeedback nach einer gewissen Zeit ein Abfall der Atemfrequenzen in einen annähernd normalen Bereich zu beobachten. Auch LaRicca et. al. zeigten in ihrem Fallbericht einer einzigen Patientin [25], die mittels visuellem Biofeedback und Hypnose im Weaning-Prozess unterstützt wurde, eine Reduktion der Atemfrequenz im Verlauf von 26 AZ/min auf 20 AZ/min.

Es ist jedoch auch zu bedenken, dass im Mittel mit 23,5 AZ/min immer noch eine Tachypnoe vorliegt. Auch unterscheiden sich die Zahlenwerte nominell nicht von denen der ersten Biofeedback-Sitzung. Dies kann man jedoch damit erklären, dass es in einem Kollektiv aus 20 Patienten mit den unterschiedlichsten Erkrankungen und verschieden langen Beatmungsdauern auch einige mit Weaning-Versagen gibt, die nicht von der Methode des Biofeedbacks profitiert haben. So sanken bei einigen Patienten im Verlauf der 20 Sitzungen die Atemfrequenzwerte – teilweise sogar in den Bereich der Normopnoe, wie z. B. bei dem ausgewählten Patienten, der in Abschnitt 5.1.1 betrachtet wurde. Bei anderen Patienten wiederum lagen die Atemfrequenzwerte auch nach dem Abschluss der 20 Sitzungen noch deutlich im tachypnoischen Bereich.

Zudem lag die Bandbreite der Atemfrequenzen der verschiedenen Patienten zwischen 10 AZ/min und 47 AZ/min, so dass große Standardabweichungen – und damit Standardfehler – nicht zu vermeiden waren.

Da die Patienten, die Biofeedback erhielten, nicht mit einer Kontrollgruppe ver-

glichen wurden, kann man die Reduktion der Atemfrequenz nicht unbedingt auf die Wirkung des Biofeedbacks zurückführen. Auch andere Gründe sind für die Verbesserung denkbar. Einerseits kann sich durch die weiterhin durchgeführten standardisierten Weaning-Protokolle die Atemfrequenz vermindert haben. Zum anderen können verbesserte medizinische Grundvoraussetzungen – wie z. B. eine verbesserte Ernährungssituation oder gesunkene Entzündungsparameter – zu einem erfolgreichen Weaning beigetragen haben. Dies geben auch schon Corson et. al. bei der Interpretation ihrer Ergebnisse zu bedenken [11].

6.3 Herzfrequenz

Betrachtet man die Herzfrequenzen aller Patienten, so gibt es keinen statistisch signifikanten Anstieg oder Abfall während und nach Durchführung der Biofeedback-Sitzungen. Die Herzfrequenzen liegen im Mittel um 85 HS/min, variieren aber – betrachtet man die einzelnen Patienten – von 49 HS/min bis zu 129 HS/min im tachykarden Bereich. Zu erwarten gewesen wäre eigentlich ein Absinken der Herzfrequenz im Laufe der Biofeedback-Sitzung, da eine körperliche Entspannung – und damit eine Senkung des Sympathikotonus – erreicht werden sollte. Dies wiederum führt zu einer Verminderung bzw. Normalisierung der Herzfrequenz. [41, 45]

Auch bei dem ausgewählten Patienten kam es zu keiner signifikanten Abnahme der Herzfrequenz. Dies mag daran gelegen haben, dass die meisten Patienten zu Beginn bereits Herzfrequenzwerte aufwiesen, die im Normalbereich lagen.

In der Literatur gibt es keine Studie zum Thema *Biofeedback und Weaning*, die die Herzfrequenz der Patienten als eigenständigen Parameter zur Beurteilung des Erfolges der Methode untersucht. Da auch in der vorliegenden Untersuchung die Herzfrequenz keine ausreichenden Schlüsse erlaubt, muss davon ausgegangen werden, dass sie möglicherweise nur richtungsweisend wirkt, jedoch keinen sicheren Rückschluss auf den Therapieerfolg zulässt. Andere Faktoren – wie z. B. Medikamente oder Grunderkrankungen – haben möglicherweise einen zu großen Einfluss auf die Herzfrequenz, als dass diese als zuverlässiger Parameter herangezogen werden könnte. So könnten herzfrequenzmodulierende Medikamente – z. B. Betablocker – eine zu niedrige Herzfrequenz vortäuschen bzw. eine adäquate Reaktion der Herzfrequenz auf Biofeedback verhindern. Auch myokardiale und andere Grund- und Begleiterkrankungen – z. B. eine Herzinsuffizienz oder eine Hyperthyreose – können zu einer fehlenden Schwankungsbreite führen.

6.4 Atemzugvolumen

Ein Ziel der Studie war es, herauszufinden, ob das Atemzugvolumen durch Biofeedback positiv beeinflusst werden kann – ob also im Therapieverlauf in den Normalbereich steigende Atemzugvolumina gemessen werden können. Betrachtet man die Werte aller Patienten während der ersten Sitzung, so fällt auf, dass sich – anders als erwartet – die Mittelwerte der Messgröße nicht im unteren Bereich bewegen, sondern zwischen 0,5 l und 0,55 l, was bereits dem Normwert entspricht. Im Verlauf der 14 Sitzungen ändert sich dieser Wert auch nicht signifikant in Abhängigkeit von der Durchführung des Biofeedback-Trainings. Allerdings handelt es sich dabei um die Mittelwerte aller Patienten, die sich aus Atemzugvolumina von minimal 0,187 l bis maximal 1,18 l zusammensetzen. Dies zeigt, dass hierbei wiederum eine große Spannbreite zwischen den einzelnen Patienten herrscht und ein direkter Vergleich kaum möglich ist.

Betrachtet man nun den ausgewählten Patienten aus der Studie, so fällt auf, dass dessen Atemzugvolumen ebenfalls – wie oben schon erwähnt – in einem für Weaning-Patienten sehr hohen Bereich von 0,5 l und 0,625 l liegt, während der ersten Sitzung jedoch noch stark schwankt. Im weiteren Verlauf ist dann ein deutlicher Trend zu erkennen: Während der Biofeedback-Sitzungen steigt das Atemzugvolumen statistisch signifikant an und sinkt nach Beendigung des Trainings nicht mehr signifikant ab. Daraus kann man schließen, dass dieser Patient sich auf das Biofeedback-Training eingelassen und seinen Atemrhythmus mit Hilfe des Trainings verbessert hat.

Der Mechanismus des Biofeedbacks beruht in diesem Fall wahrscheinlich auf einer Verminderung der Angst vor dem Erstickten durch das Wiedererlangen der Kontrolle über die eigene Atmung. Durch die verminderte psychische Abhängigkeit vom Respirator kommt es am Ende zu einer Verminderung des Atemzugvolumens. [1, 9–12, 19, 23–25]

Bei den in dieser Studie untersuchten Patienten, die sehr hohe Atemzugvolumina aufwiesen, scheint dieser Mechanismus nicht funktioniert zu haben. Eventuell hatten diese Patienten zusätzlich – was bei Patienten auf Intensivstationen häufig vorkommt – Depressionen, die die Wirkung von Biofeedback verschlechtern [45]. Diejenigen, bei denen zu Beginn der Studie das Atemzugvolumen sehr niedrig war, hatten eventuell zu schlechte physische Voraussetzungen (kardiopulmonale Erkrankungen oder schnelle Ermüdbarkeit der Atemmuskulatur), als dass Weaning in Kombination mit Biofeedback durchgeführt werden könnte.

Vergleicht man dieses Ergebnis mit der Literatur, so fällt auf, dass in den meisten publizierten Studien oder Fallberichten Patienten erwähnt werden, die anfangs ein wesentlich geringeres Atemzugvolumen aufweisen. Corson et. al. berichten von zwei

Patienten, die mit – allerdings visuellem, nicht akustischem – Biofeedback von anfangs weniger als 0,18 l bzw. 0,3 l ausgehend ein deutlich höheres Niveau von 0,3 l bzw. 0,5 l erreichen konnten [11].

Holliday und Hyers behandelten in ihrer Studie 40 Patienten ebenfalls mit visuellem, aber auch mit akustischem Biofeedback. Dabei konnten sie eine Zunahme des Atemzugvolumens von durchschnittlich 0,295 l auf 0,415 l zeigen, wogegen bei der Kontrollgruppe kein signifikanter Unterschied nachweisbar war. Allerdings wurden in dieser Studie auch noch andere Techniken – z. B. Gespräche über Ängste und Gefühle, verbale Ermutigung des Patienten sowie visuelles Biofeedback der Spannung des M. frontalis per EMG – eingesetzt. [19]

LaRiccica et. al. publizierten einen Fallbericht über eine 30-jährige Patientin mit Myelitis transversa, die mittels einer Kombination aus visuellem Biofeedback – alleine und zusammen mit Hypnose – sowie verbaler Ermutigung innerhalb von zwölf Tagen nach Beginn des Biofeedback-Trainings geweant werden konnte. Allerdings zeigte sich bei dieser Patientin keine signifikante Veränderung des Atemzugvolumens: es stieg von anfangs 0,249 l auf nur 0,286 l. [25]

Daraus kann man schließen, dass bei den meisten in dieser Studie untersuchten Patienten – anders als in der vorhandenen Literatur – das Problem des Weaning-Versagens nicht in einer zu flachen Atmung, sondern in einer zu hohen Atemfrequenz lag.

6.5 Atemminutenvolumen

Da sich das Atemminutenvolumen aus Atemfrequenz und Atemzugvolumen zusammensetzt, ist als Ergebnis eine Beziehung zwischen diesen drei gemessenen Parametern zu erwarten. Ziel war es, eine Normalisierung des Atemminutenvolumens während des Biofeedback-Trainings zu erreichen. Dies kann einerseits durch eine Abnahme der Atemfrequenz, andererseits durch eine Zunahme des Atemzugvolumens erreicht werden. Die physiologischen Normalwerte liegen in Ruhe bei ca. 6 l/min bis 10 l/min [26, 35].

Während der ersten Sitzung bewegen sich die Atemminutenvolumina zwischen 10,3 l/min und 11,5 l/min und liegen damit noch über den Normalwerten. In der letzten Sitzung ist dagegen in den letzten Minuten ein deutlicher Trend zu niedrigeren Atemminutenvolumina zu erkennen, obwohl sich nur zwei Werte statistisch signifikant von dem vor Beginn des Trainings gemessenen Wert unterscheiden. Betrachtet man dann alle Sitzungen, fällt zwar auf, dass während der Anwendung des Biofeedbacks

von Zeitpunkt 10 bis Zeitpunkt 15 und noch einmal kurz nach Ende des Trainings zu Zeitpunkt 17 ein signifikanter Abfall des Atemminutenvolumens erreicht wird, dass aber auch die Volumina mit 11,5 l/min bis 11,7 l/min noch deutlich über dem Normalwert und sogar noch über dem in der ersten Sitzung gemessenen Ausgangswert liegen. Der Wert eines gesunden Erwachsenen wird also trotz Biofeedback-Trainings nicht erreicht. Was man aber deutlich erkennen kann, ist ein Abfall des Atemminutenvolumens während des Biofeedback-Trainings; dies lässt darauf schließen, dass ein Einfluss des Biofeedback-Trainings vorhanden ist. Jedoch ist – dies stellten auch schon Holliday und Lippmann in ihrer Studie fest – das Absinken des Atemminutenvolumens mehr der signifikanten Reduktion der Atemfrequenz als dem Anstieg des Atemzugvolumens geschuldet [20].

Betrachtet man den ausgewählten Patienten, so zeigt sich ein Abfall des Parameters bereits in der ersten Sitzung, der sich dann statistisch signifikant während aller Sitzungen ab Zeitpunkt 8 nachweisen lässt. Auch bei diesem Patienten werden Normalwerte nicht erreicht, dafür lässt sich aber eine deutliche Senkung des Atemminutenvolumens von 12,3 l/min auf 11 l/min feststellen. Dies war aber auch nicht anders zu erwarten, da – wie schon oben gezeigt – ein Anstieg des Atemzugvolumens und ein Absinken der Atemfrequenz bei diesem Patienten mittels Biofeedback gut erreicht werden konnte.

Ein anderes Beispiel aus der Literatur geben Holliday und Lippmann [20] in ihrer Studie, in der 24 Patienten mit akustischem und visuellem Biofeedback sowie CO₂-Rückatmung untersucht wurden. Darin wurde gezeigt, dass mittels Biofeedback eine Reduktion des Atemminutenvolumens von 15,8 l/min auf 13,9 l/min erreicht werden konnte, was statistisch signifikant war. Auch in dieser Studie lagen die Atemminutenvolumina über dem Normalbereich und sanken im Verlauf auch nicht in diesen ab.

Vergleicht man dieses Ergebnis mit der Literatur, so findet man den bereits erwähnten Fallbericht von LaRiccia et. al. [25] über eine Patientin mit Myelitis transversa, die mit Hilfe von visuellem Biofeedback und Hypnose vom Respirator entwöhnt wurde. Sie wies zu Beginn der Sitzungen ein Atemminutenvolumen von 6,5 l/min und in der letzten Sitzung von 5,7 l/min auf. Das bereits am Anfang normale Atemminutenvolumen sank also im Verlauf der Behandlung noch weiter ab. Dies lässt sich jedoch mit den wesentlich geringeren Atemzugvolumina erklären, die die Patientin aufgrund der neurologischen Grunderkrankung und der damit verbundenen Schwäche der Atemmuskulatur hatte. Da die Atemfrequenz im Verlauf der Sitzungen abfällt, sinkt auch das Atemminutenvolumen ab. Dieser Fall ist nicht mit den in dieser Studie untersuchten Patienten vergleichbar, da hier Patienten mit neurologischen Grunderkrankungen ausgeschlossen wurden.

6.6 Regressionsanalyse zu Herzfrequenz und Atemfrequenz

Wie bereits in Abschnitt 6.3 gezeigt, verändert Biofeedback die Herzfrequenz nicht statistisch signifikant. Die Veränderung der Atemfrequenz wurde ebenfalls weiter oben beschrieben (siehe Abschnitt 6.2). Wie sieht es jedoch mit der Veränderung der Atemfrequenz in Abhängigkeit von der Herzfrequenz aus?

Während der ersten Sitzung lässt sich nur ein sehr schwacher Zusammenhang erkennen. Zudem ist dieser gegensinnig mit einem Korrelationskoeffizienten nach Pearson von $r = -0,25$. Dies bedeutet bei zunehmender Herzfrequenz eine Abnahme der Atemfrequenz, die sich allerdings nur im Rahmen von wenigen hundert Millilitern bewegt.

Betrachtet man die letzte Sitzung, so fällt ein wesentlich stärkerer Zusammenhang auf, der sich nun gleichsinnig darstellt: Bei einem Anstieg der Herzfrequenz kommt es zu einem Anstieg der Atemfrequenz. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson zeigt mit $r = 0,7$ einen deutlichen Zusammenhang. Der positive Zusammenhang kann durch physiologische Prozesse erklärt werden. Steigt die Herzfrequenz durch körperliche Anstrengung oder psychische Aufregung an, so kommt es – vermittelt über neuronale Impulse – zu einer Stimulierung des Atemzentrums und somit zu einer Zunahme der Atemfrequenz [5]. Dass in der letzten Sitzung ein stärkerer Zusammenhang zwischen den beiden Parametern nachweisbar ist als in der ersten Sitzung, mag darauf beruhen, dass sich eine Normalisierung der physiologischen Reaktionen des Körpers im Verlauf des Biofeedback-Trainings einstellt.

Auch die Regression der Herz- und Atemfrequenzwerte aller Sitzungen zeigt einen gleichsinnigen Zusammenhang. Das lässt darauf schließen, dass sich bereits während der ersten Sitzungen das Verhältnis umkehrt und von einem gegensinnigen auf einen gleichsinnigen Zusammenhang ändert. Anders wäre in der Zusammenfassung aller Werte auch der positive Korrelationskoeffizient nach Pearson von $r = 0,6$ nicht zu erklären. Dieser weist auf einen relativ starken Zusammenhang zwischen Herz- und Atemfrequenz während aller Sitzungen hin. Er ist jedoch etwas geringer als der Einzelkoeffizient der letzten Sitzung. Dies lässt sich damit erklären, dass sich die Werte aller Sitzungen aus den Mittelwerten aller anderen Sitzungen zusammensetzen und daher eine gewisse Streuung erzeugt wird.

In keiner der bereits weiter oben erwähnten Studien zum Thema *Biofeedback und Weaning* wurde eine Regressionsanalyse vorgenommen, so dass ein Vergleich mit der Literatur auf diesem Gebiet schwer möglich ist.

6.7 Regressionsanalyse zu Herzfrequenz und Atemzugvolumen

Betrachtet man die Regressionsanalysen während der ersten und der letzten Sitzung sowie während aller Sitzungen, so fällt auf, dass – anders als bei den vorherigen Werten – keine starken Zusammenhänge zwischen den beiden Größen auftreten. Ein gleichsinniger Zusammenhang kann jedoch bei allen drei Auswertungen festgestellt werden.

Während der ersten Sitzung ist mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,05$ fast kein Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz und dem Atemzugvolumen nachweisbar. Zudem streuen die Punkte relativ stark um die Regressionsgerade. Man kann also nicht davon ausgehen, dass ein Anstieg oder Abfall der Herzfrequenz während der ersten Sitzung in direktem kausalem Zusammenhang mit einer Veränderung des Atemzugvolumens steht.

Auch während der letzten Sitzung lässt sich nur ein schwacher Zusammenhang erkennen. Jedoch liegen die Werte nun näher um die Regressionsgerade, was bedeutet, dass nicht mehr eine so breite Streuung wie in der ersten Sitzung auftrat.

Betrachtet man alle Sitzungen, so ist der Zusammenhang mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,3$ etwas stärker als in den beiden vorherigen Darstellungen – es kommt also bei einem Anstieg der Herzfrequenz zu einer Erhöhung des Atemzugvolumens. Dies entspricht der physiologischen Reaktion, bei der über eine Stimulierung des Kreislaufzentrums – z. B. bei erhöhter körperlicher und psychischer Aktivität während des Weaning-Prozesses – zuerst eine Erhöhung der Herzfrequenz und dann – wiederum über eine Stimulierung des Atemzentrums – eine Erhöhung nicht nur der Atemfrequenz, sondern auch des Atemzugvolumens erreicht wird [5, 17]. Da jedoch der Zusammenhang zwischen den Parametern Herzfrequenz und Atemfrequenz deutlich stärker ist als zwischen den Parametern Herzfrequenz und Atemzugvolumen, muss angenommen werden, dass der Anstieg der Herzfrequenz – sollte er denn während des Weaning-Prozesses auftreten – eher mit einem Anstieg der Atemfrequenz einhergeht.

6.8 Methodenkritik

Wie bereits eingangs erwähnt (siehe Abschnitt 2.2.2), beruht der Wirkmechanismus des Biofeedbacks auf dem Prinzip der operanten Konditionierung. Dabei ist das Biofeedback selbst der positive Verstärker. Im konkreten Fall wird also durch das akustische Signal das positive Verhalten – die verlangsamte Atmung – verstärkt. Statistisch gesehen, ist

es während des Einsatzes von Biofeedback zu einem signifikanten Abfall der Atemfrequenzen um 1 AZ/min gekommen. Jedoch bleibt es fraglich, ob dies klinisch eine Rolle gespielt hat – vor allem deshalb, da auch durch den Abfall der Atemfrequenz um 1 AZ/min keine Normopnoe erreicht wurde, sondern immer noch eine Tachypnoe vorherrschte. Der Effekt, der durch den Einsatz von Biofeedback erreicht wurde, war dann wahrscheinlich doch noch zu gering.

Auch geht man davon aus, dass durch Biofeedback die Erkennung der Selbstwirksamkeit gefördert wird, indem der Patient aktiv in den Genesungsprozess eingebunden wird. Er bekommt damit das Gefühl, selbst an der Verbesserung seiner Situation teilzuhaben und auf diese einwirken zu können, und fühlt sich nicht länger hilflos passiv ausgeliefert [8]. Es ist schwierig, zu beurteilen, inwiefern das Erlernen der Selbstwirksamkeit zur Verbesserung des Resultats und zur Normalisierung der Atmungs- und Kreislaufparameter beigetragen hat. Einen klinisch messbaren Parameter gibt es hierfür nicht. Eventuell hätte eine Befragung der Patienten nach Abschluss des Biofeedback-Trainings bezüglich der subjektiven Empfindungen während des Trainings mehr Aufschluss geben können.

Mit der Erkennung der Selbstwirksamkeit geht die Erwartung der Patienten an das Biofeedback-Training einher. In einer Untersuchung von Holroyd et. al. wurde der Effekt der Erwartung des Patienten untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass die Patienten, denen vermittelt wurde, sie seien erfolgreich, einen größeren Effekt durch das Training erzielen konnten als diejenigen, die eine negative Rückmeldung erhielten [21]. Daraus lässt sich schließen, dass eine positive Erwartungshaltung zu einem besseren Ergebnis führt. Ob jedoch der Schluss zulässig ist, dass die Patienten, die in der vorliegenden Studie bessere Ergebnisse erzielt haben als andere, eine positive Erwartungshaltung an das Biofeedback-Training hatten, ist fraglich. Schließlich war ein Kriterium dieser Studie, die Patienten eben nicht verbal zu unterstützen und ihnen auch keine Rückmeldung über den Therapieerfolg zu geben, um so die alleinige Wirkung des Biofeedbacks zu testen.

Während der Biofeedback-Sitzung kommt es zu einer passiven Konzentration des Patienten auf das Training. Dadurch werden angstbeladene Gedanken verdrängt und es kommt zu einer allgemeinen Entspannung durch Deaktivierung des Sympathikus [8, 41]. Eine Abnahme der durch den Sympathikus aktivierten Körperfunktionen – z. B. der Herzfrequenz – könnte diesen Effekt während der Biofeedback-Sitzungen widerspiegeln. Jedoch lässt sich gerade dies – wie schon in Abschnitt 6.2 dargestellt – nicht nachweisen. Während der Biofeedback-Sitzungen kam es zu keiner Veränderung der Herzfrequenz. Dies kann jedoch auch andere Ursachen haben – z. B. Medikamente oder Erkrankungen,

die die Reaktionsfähigkeit des Herzens verhindern. Eine genaue Aussage bezüglich der Verminderung von angsteinflößenden Gedanken könnte also nur nach Befragung der Patienten getroffen werden.

Zusammenfassend lässt sich die Wirksamkeit des Biofeedbacks nur an den klinisch gemessenen Parametern belegen. Da es dort zu einer signifikanten Veränderung – nämlich dem Abfall der Atemfrequenz – kam, ist Biofeedback zumindest in diesem Bereich wirksam gewesen.

Kapitel 7

Zusammenfassung

Für die Durchführung der Studie *Biofeedback zur Unterstützung des Weaning-Prozesses vom Respirator bei langzeitbeatmeten Intensivpatienten* wurden von April 2006 bis Mai 2008 konsekutiv 20 Patienten aus dem Kollektiv der Weaning-Station der Klinik für Innere Medizin B der Greifswalder Universitätsklinik ausgewählt. Darunter befanden sich 4 Frauen und 16 Männer im Alter von durchschnittlich 68 Jahren mit initialen Beatmungsdauern von minimal 14 bis zu maximal 195 Tagen.

Die Patienten bekamen während des Beobachtungszeitraumes von sieben Tagen täglich zweimal jeweils zwanzigminütige Sitzungen mit akustischem Biofeedback – wobei davon jeweils zehn Minuten auf das eigentliche Biofeedback-Training entfielen. Jeweils fünf Minuten vor und nach Durchführung des Biofeedbacks gab es eine Beobachtungsphase. Während dieser Sitzungen wurden verschiedene Parameter – wie die Atemfrequenz, die Herzfrequenz, das Atemzugvolumen sowie das Atemminutenvolumen – gemessen, um daran den Effekt des akustischen Biofeedbacks ablesen zu können. Die Arbeitshypothesen waren das Absinken der Atemfrequenz, die Normalisierung der Herzfrequenz und des Atemzugvolumens sowie die Abnahme des Atemminutenvolumens durch den Einsatz von Biofeedback.

Während der Biofeedback-Sitzungen kam es zu einem statistisch signifikanten Abfall der Atemfrequenzen im Vergleich zur Baseline. Die Herzfrequenz ließ sich nicht beeinflussen. Auch beim Atemzugvolumen zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Zeiten mit und ohne Biofeedback-Training. Das Atemminutenvolumen sank während der Sitzungen statistisch signifikant ab, stieg allerdings danach wieder leicht an. Dies war vor allem bedingt durch eine Änderung der Atemfrequenz.

Abschließend kann man also konstatieren, dass sich die Atemfrequenz am stärksten änderte. Zwar wurden gegen Ende des Biofeedback-Trainings immer noch zum Teil

tachypnoische Werte gemessen, was jedoch auf die hohe Variabilität des Patientenguts zurückzuführen ist. Mit Sicherheit führen auch andere Faktoren – wie z. B. die normal weitergeführten konventionellen Weaning-Protokolle und die Verbesserung der klinischen Situation – zu einer Verminderung der Atemfrequenz. Um diese Faktoren zu berücksichtigen, sollten in der Zukunft kontrollierte Studien mit einer Kontrollgruppe, die ohne Biofeedback vom Respirator entwöhnt wird, durchgeführt werden.

Literatur

- [1] **Acosta, F.** Biofeedback and progressive relaxation in weaning the anxious patient from the ventilator. A brief report. In: *Heart & Lung: The Journal of Acute and Critical Care* 17.3 (1988), pp. 299–301.
- [2] **Alía, I. and Esteban, A.** Weaning from mechanical ventilation. In: *Critical Care* 4.2 (2000), pp. 72–80.
- [3] **Benotti, P. N. and Bistrrian, B.** Metabolic and nutritional aspects of weaning from mechanical ventilation. In: *Critical Care Medicine* 17.2 (1989), pp. 181–185.
- [4] **Blackwood, B.** The art and science of predicting patient readiness for weaning from mechanical ventilation. In: *International Journal of Nursing Studies* 37.2 (2000), pp. 145–151.
- [5] **Braun, J. und Renz-Polster, H.** Lunge. In: *Basislehrbuch Innere Medizin*. Hrsg. von **H. Renz-Polster, S. Krautzig und J. Braun**. 3. Aufl. München, Jena: Urban & Fischer, 2006, S. 410–429.
- [6] **Brochard, L.; Harf, A.; Lorino, H. and Lemaire, F.** Inspiratory pressure support prevents diaphragmatic fatigue during weaning from mechanical ventilation. In: *American Review of Respiratory Disease* 139.2 (1989), pp. 513–521.
- [7] **Brochard, L.; Rauss, A.; Benito, S.; Conti, G.; Mancebo, J.; Rekik, N.; Gasparetto, A. and Lemaire, F.** Comparison of three methods of gradual withdrawal from ventilatory support during weaning from mechanical ventilation. In: *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 150.4 (1994), pp. 896–903.
- [8] **Bruns, T. und Praun, N.** *Biofeedback. Ein Handbuch für die therapeutische Praxis*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 2002.
- [9] **Carrieri-Kohlman, V.** Dyspnea in the Weaning Patient. Assessment and intervention. In: *AACN Clinical Issues in Critical Care Nursing* 2.3 (1991), pp. 462–473.

-
- [10] **Cook, D.; Meade, M.; Guyatt, G.; Butler, R.; Aldawood, A. and Epstein, S.** Trials of miscellaneous interventions to wean from mechanical ventilation. In: *Chest* 120.6 (Supplement 2001): *Evidence-Based Guidelines for Weaning and Discontinuing Ventilatory Support*, pp. 438–444. DOI: 10.1378/chest.120.6_suppl.438S.
- [11] **Corson, J. A.; Grant, J. L.; Moulton, D. P.; Green, R. L. and Dunkel, P. T.** Use of biofeedback in weaning paralyzed patients from respirators. In: *Chest* 76.5 (1979), pp. 543–545.
- [12] **Criner, G. J.; Tzouanakis, A. and Kreimer, D. T.** Overview of improving tolerance of long-term mechanical ventilation. In: *Critical Care Clinics* 10.4 (1994), pp. 845–866.
- [13] **Dhingra, S.; Solven, F.; Wilson, A. and McCarthy, D. S.** Hypomagnesemia and respiratory muscle power. In: *American Review of Respiratory Disease* 129.3 (1984), pp. 497–498.
- [14] **Ely, E. W.; Baker, A. M.; Dunagan, D. P.; Burke, H. L.; Smith, A. C.; Kelly, P. T.; Johnson, M. M.; Browder, R. W.; Bowton, D. L. and Haponik, E. F.** Effect on the duration of mechanical ventilation of identifying patients capable of breathing spontaneously. In: *New England Journal of Medicine* 335.25 (1996), pp. 1864–1869.
- [15] **Esteban, A.; Frutos, F.; Tobin, M. J.; Alía, I.; Solsona, J. F.; Valverdú, I.; Fernández, R.; Cal, M. A. de la; Benito, S.; Tomás, R.; Carriedo, D.; Macías, S. and Blanco, J.** A comparison of four methods of weaning patients from mechanical ventilation. In: *New England Journal of Medicine* 332.6 (1995), pp. 345–350.
- [16] **Gaus, E. and Köhle, K.** The ICU Syndrome. In: *Psychosomatic medicine*. Ed. by T. von Uexküll, R. H. Adler, J. M. Herrmann, K. Köhle, O. W. Schonecke and W. Wesiack. München, Wien, Baltimore/MD: Urban & Schwarzenberg, 1997, pp. 810–821.
- [17] **Giannitsis, E.; Krautzig, S.; Kurowski, V.; Renz-Polster, H.; Schwabe, K. und Stierle, U. Herz.** In: *Basislehrbuch Innere Medizin*. Hrsg. von H. Renz-Polster, S. Krautzig und J. Braun. 3. Aufl. München, Jena: Urban & Fischer, 2006, S. 28–190.
- [18] **Green, E. E.; Green, A. M. and Walters, E. D.** Voluntary control of internal states: psychological and physiological. In: *Journal of Transpersonal Psychology* 2 (1970), pp. 1–26.
- [19] **Holliday, J. E. and Hyers, T. M.** The reduction of weaning time from mechanical ventilation using tidal volume and relaxation biofeedback. In: *American Review of Respiratory Disease* 141.5, Pt. 1 (1990), pp. 1214–1220.

- [20] **Holliday, J. E. and Lippmann, M.** Reduction in ventilatory response to CO₂ with relaxation feedback during CO₂ rebreathing for ventilator patients. In: *Chest* 124.4 (2003), pp. 1500–1511.
- [21] **Holroyd, K. A.; Penzien, D. B.; Hursey, K. G.; Tobin, D. L.; Rogers, L.; Holm, J. E.; Marcille, P. J.; Hall, J. R. and Chila, A. G.** Change mechanisms in EMG biofeedback training. Cognitive changes underlying improvements in tension headache. In: *Journal of Consulting and Clinical Psychology* 52.6 (1984), pp. 1039–1053.
- [22] **Iotti, G.; Brochard, L. and Lemaire, F.** Mechanical ventilation and weaning. In: *Care of the critically ill patient*. Ed. by **J. Tinker and W. M. Zapol**. 2nd ed. London, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 1992, pp. 457–477.
- [23] **Jacavone, J. and Young, J.** Use of pulmonary rehabilitation strategies to wean a difficult-to-wean patient. Case study. In: *Critical Care Nurse* 18.6 (1997), pp. 29–37.
- [24] **Knebel, A. R.** When weaning from mechanical ventilation fails. In: *American Journal of Critical Care* 1.3 (1992), pp. 19–29.
- [25] **LaRiccia, P. J.; Katz, R. H.; Peters, J. W.; Atkinson, G. W. and Weiss, T.** Biofeedback and hypnosis in weaning from mechanical ventilators. In: *Chest* 87.2 (1985), pp. 267–269.
- [26] **Larsen, R. und Ziegenfuß, T.** *Beatmung. Grundlagen und Praxis*. 3., vollst. überarb. u. erw. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York/NY: Springer Verlag, 2004. Kapitel: „Standardformen der Beatmung“, S. 208–225.
- [27] **MacIntyre, N. R.; Cook, D. J.; E. Wesley Ely, J.; Epstein, S. K.; Fink, J. B.; Heffner, J. E.; Hess, D.; Hubmayer, R. D. and Scheinhorn, D. J.** Evidence-based guidelines for weaning and discontinuing ventilatory support. A collective task force facilitated by the american college of chest physicians; the american association for respiratory care; and the american college of critical care medicine. In: *Chest* 120.6 (Supplement 2001): *Evidence-based guidelines for weaning and discontinuing ventilatory support*, pp. 375–396.
- [28] **Mancebo, J.** Weaning from mechanical ventilation. In: *European Respiratory Journal* 9.9 (1996), pp. 1923–1931.
- [29] **Marini, J. J.** Weaning from mechanical ventilation. In: *New England Journal of Medicine* 324.21 (1991), pp. 1496–1498.
- [30] **Marino, P. L.** *Das ICU-Buch. Praktische Intensivmedizin*. Hrsg. und übers. von **K. Taeger**. 2. Aufl. München, Jena: Urban & Fischer, 1999. Kapitel: „Entwöhnung von der maschinellen Beatmung“, S. 406–417.

- [31] **Meuret, A. E.; Wilhelm, F. H. and Roth, W. T.** Respiratory biofeedback-assisted therapy in panic disorder. In: *Behavior Modification* 25.4 (2001), pp. 584–605.
- [32] **Meuret, A. E.; Wilhelm, F. H. and Roth, W. T.** Respiratory feedback for treating panic disorder. In: *Journal of Clinical Psychology* 60.2 (2004), pp. 197–207.
- [33] **Miller, N. E.** Learning of visceral and glandular responses. In: *Science* 163.3866 (1969), pp. 434–445.
- [34] **Oczenski, W.; Andel, H. und Werba, A.** *Atmen – Atemhilfen. Atemphysiologie und Beatmungstechnik*. 7., vollst. überarb. u. erw. Aufl. Stuttgart, New York/NY: Thieme Verlag, 2006. Kapitel: „Entwöhnung vom Respirator (Weaning)“, S. 301–331.
- [35] **Oczenski, W.; Andel, H. und Werba, A.** *Atmen – Atemhilfen. Atemphysiologie und Beatmungstechnik*. 7., vollst. überarb. u. erw. Aufl. Stuttgart, New York/NY: Thieme Verlag, 2006. Kapitel: „Spontanatmung mit kontinuierlichem positivem Atemwegsdruck (CPAP = Continuous Positive Airway Pressure)“, S. 237–246.
- [36] **Oczenski, W.; Andel, H. und Werba, A.** *Atmen – Atemhilfen. Atemphysiologie und Beatmungstechnik*. 7., vollst. überarb. u. erw. Aufl. Stuttgart, New York/NY: Thieme Verlag, 2006.
- [37] **Purro, A.; Appendini, L.; Gaetano, A. D.; Gudjonsdottir, M.; Donner, C. F. and Rossi, A.** Physiologic determinants of ventilator dependence in long-term mechanically ventilated patients. In: *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 161.4 (2000), pp. 1115–1123.
- [38] **Renz-Polster, H.; Krautzig, S. und Braun, J.** Hrsg. *Basislehrbuch Innere Medizin*. 3. Aufl. München, Jena: Urban & Fischer, 2006.
- [39] **Rief, W. und Birbaumer, N.** Grundsätzliches zu Biofeedback. Grundlagen, Indikationen, Kommunikation, praktisches Vorgehen in der Therapie. In: *Biofeedback. Grundlagen, Indikationen, Kommunikation, praktisches Vorgehen in der Therapie*. Hrsg. von **W. Rief und N. Birbaumer**. 2. Aufl. Stuttgart: Schattauer, 2006, S. 1–7.
- [40] **Sassoon, C. S.; Te, T. T.; Mahutte, C. K. and Light, R. W.** Airway occlusion pressure. An important indicator for successful weaning in patients with chronic obstructive pulmonary disease. In: *American Review of Respiratory Disease* 135.1 (1987), pp. 107–113.
- [41] **Schenk, C.** *Biofeedback. Grundlagen zum Verständnis, zur Indikation, Durchführung und Wirkungsweise der Biofeedbacktherapie*. WEGE DER PATIENTENFÜHRUNG 12. Erlangen: perimed, 1989.

-
- [42] **Schönhofer, B.** Entwöhnung vom Respirator (Weaning). In: *Intensivmedizin und Notfallmedizin* 37.4 (2000), S. 273 – 283.
- [43] **Vaitl, D.** Biofeedback. In: *Handbuch der Entspannungsverfahren*. Bd. 1: *Handbuch der Entspannungsverfahren*. Hrsg. von **D. Vaitl und F. Petermann**. 2. Aufl. Weinheim: Psychologie Verlags Union, 2000, S. 337 – 391.
- [44] **Yang, K. L. and Tobin, M. J.** A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. In: *New England Journal of Medicine* 324.21 (1991), pp. 1445 – 1450.
- [45] **Zeier, H.** *Biofeedback. Physiologische Grundlagen – Anwendungen in der Psychotherapie*. PRAXIS. Bern, Stuttgart, München: Verlag Hans Huber, 1990.

Anhang A

Tabellarische Darstellungen

In den folgenden Tabellen werden die bei den 20 Patienten erhobenen Parameter aufgelistet. Pro Patient gibt es 14 aufeinanderfolgende Sitzungen mit jeweils 21 Messzeitpunkten. Jeder einzelne Wert ist der Mittelwert aus den Werten aller Patienten in der jeweiligen Sitzung und zum jeweiligen Zeitpunkt.

Tab. A.1: Atemfrequenzen zu den Sitzungen 1 bis 14

Zeitpunkt	AF in Sitzung													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	23,5	24,7	25,2	24,4	24,0	25,1	23,3	26,0	25,2	26,7	24,4	26,8	24,1	25,1
2	23,4	25,8	25,7	24,2	23,9	25,1	23,6	24,6	25,2	26,6	24,5	26,7	23,3	25,8
3	23,2	23,9	25,6	24,6	23,6	25,3	23,6	24,8	24,3	26,4	24,7	27,7	23,6	25,4
4	23,3	23,9	26,4	24,5	24,2	25,0	23,7	24,7	24,8	26,5	24,2	27,6	23,2	25,3
5	23,2	23,4	26,1	25,3	23,5	24,4	24,4	25,1	24,9	25,9	24,2	27,9	22,9	25,4
6	23,7	25,1	26,1	25,5	24,2	24,9	23,4	25,1	24,7	25,8	24,2	26,7	23,7	25,4
7	23,1	23,7	24,6	24,9	24,5	24,1	23,2	23,8	24,4	25,3	23,6	26,8	22,2	24,8
8	22,9	23,0	24,7	24,5	22,9	23,7	22,8	23,9	23,6	24,2	23,1	25,5	22,6	24,1
9	22,9	23,6	24,4	24,5	23,4	24,3	22,9	22,9	23,6	24,2	22,8	25,7	22,5	24,9
10	23,1	23,4	24,4	24,6	23,1	23,8	22,0	23,4	23,8	24,3	23,1	26,4	22,7	24,1
11	22,9	22,9	24,7	23,9	23,2	23,0	22,1	22,8	23,3	25,0	22,6	26,3	22,7	24,3
12	22,5	23,0	24,8	23,9	23,0	23,8	22,7	23,0	23,3	24,9	23,3	25,9	22,2	23,2
13	23,8	23,2	23,9	24,3	23,3	23,6	21,6	23,8	23,6	24,9	21,9	25,9	22,2	24,3
14	23,2	22,9	24,1	24,0	23,0	23,5	22,8	23,4	23,4	24,4	22,3	25,2	22,1	24,1
15	23,4	23,6	24,2	23,5	23,4	23,5	22,4	24,1	24,1	23,8	22,8	25,0	23,1	23,3
16	23,2	23,5	24,1	24,2	22,9	22,8	23,3	24,2	24,1	24,7	23,0	25,7	22,4	23,7
17	23,1	23,3	23,5	24,4	23,2	24,7	22,6	23,9	24,3	24,8	23,1	25,1	23,2	24,3
18	22,9	23,9	24,1	24,0	23,7	23,9	22,6	24,1	24,1	24,6	23,3	24,5	23,5	24,0
19	22,5	23,6	23,2	24,0	23,9	23,9	23,2	24,0	24,2	25,7	23,3	25,9	23,6	24,1
20	23,2	24,1	23,8	23,9	24,2	24,2	22,6	24,1	23,9	24,6	23,1	26,1	23,2	24,2
21	22,3	23,1	24,4	23,5	23,3	24,3	23,0	23,9	23,6	24,7	23,2	25,8	23,3	24,8

Tab. A.2: Herzfrequenzen zu den Sitzungen 1 bis 14

Zeitpunkt	HF in Sitzung													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	85,4	85,6	87,3	84,9	83,8	86,2	90,1	83,7	83,8	85,4	83,2	83,9	80,5	86,7
2	84,1	85,1	87,9	85,0	82,8	86,6	88,7	84,6	84,2	86,2	83,5	84,3	81,6	87,0
3	85,7	85,2	88,0	86,3	83,4	86,8	88,0	87,1	84,6	86,3	83,8	86,2	82,3	87,5
4	85,9	85,9	88,5	84,2	83,7	86,1	88,3	85,0	82,2	84,5	83,4	86,1	80,2	85,2
5	86,4	85,5	86,5	84,0	81,5	87,1	87,2	84,8	83,6	86,7	85,6	86,8	79,4	86,5
6	84,8	85,9	86,5	84,7	83,7	86,7	88,1	85,0	83,9	85,0	85,0	85,9	82,2	86,4
7	85,3	86,7	88,4	85,6	83,0	87,8	87,0	86,8	83,0	85,9	83,1	85,9	80,7	85,2
8	84,8	85,7	86,3	85,1	83,2	87,4	87,7	86,1	82,5	85,5	84,8	85,7	80,4	86,2
9	84,5	85,3	87,2	84,3	84,0	86,2	86,8	84,6	82,6	85,9	83,7	86,6	79,9	83,7
10	83,6	86,0	86,6	84,8	82,2	86,3	87,3	85,7	82,7	84,1	82,8	85,3	81,7	85,1
11	85,5	84,8	86,6	85,3	82,2	87,3	86,8	84,8	82,7	84,0	84,2	85,6	80,8	83,9
12	85,5	84,2	86,3	85,7	82,0	86,8	86,6	86,5	80,4	84,6	83,1	87,6	81,9	83,9
13	85,2	84,8	86,6	84,7	83,3	86,7	84,4	86,6	82,9	84,9	82,1	86,7	80,8	83,9
14	83,9	86,0	87,4	83,3	83,4	86,5	86,4	85,3	82,2	84,9	81,7	85,8	81,3	84,4
15	84,8	85,6	87,4	84,9	85,1	86,3	86,7	86,2	82,1	84,6	83,3	86,3	81,1	83,8
16	86,1	86,2	87,3	84,3	83,7	86,5	87,0	86,7	83,8	85,2	82,6	85,3	82,9	84,3
17	86,4	84,6	86,7	83,8	83,9	87,0	87,6	85,6	84,4	83,4	83,4	87,4	80,4	85,3
18	84,7	86,1	85,3	84,0	85,3	88,0	86,3	85,9	83,9	85,4	82,3	84,9	82,3	84,5
19	85,6	86,3	85,7	84,2	83,1	87,9	86,2	86,4	83,4	85,4	83,2	86,0	80,6	85,5
20	85,8	85,1	86,1	83,8	83,3	87,4	86,5	84,8	83,7	84,6	81,4	85,2	79,6	84,2
21	86,4	86,2	86,5	83,6	83,9	87,5	86,2	85,5	82,9	86,4	83,3	84,8	80,7	84,6

Tab. A.3: Atemzugvolumen zu den Sitzungen 1 bis 14

Zeitpunkt	V_T in Sitzung													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0,540	0,500	0,520	0,540	0,559	0,523	0,591	0,560	0,523	0,519	0,505	0,479	0,536	0,512
2	0,518	0,532	0,523	0,544	0,560	0,516	0,555	0,553	0,521	0,507	0,510	0,496	0,553	0,486
3	0,542	0,528	0,548	0,549	0,541	0,503	0,559	0,536	0,516	0,529	0,516	0,490	0,551	0,493
4	0,522	0,538	0,511	0,537	0,549	0,577	0,533	0,581	0,553	0,500	0,496	0,478	0,493	0,474
5	0,537	0,517	0,533	0,530	0,573	0,525	0,555	0,544	0,506	0,518	0,531	0,497	0,532	0,502
6	0,498	0,526	0,524	0,512	0,562	0,522	0,572	0,575	0,546	0,511	0,508	0,482	0,551	0,500
7	0,525	0,967	0,511	0,524	0,580	0,552	0,556	0,557	0,527	0,526	0,533	0,503	0,536	0,505
8	0,537	0,525	0,527	0,531	0,557	0,557	0,539	0,587	0,532	0,536	0,510	0,498	0,532	0,497
9	0,534	0,523	0,515	0,527	0,575	0,551	0,556	0,569	0,515	0,544	0,509	0,492	0,513	0,488
10	0,524	0,524	0,532	0,518	0,552	0,555	0,548	0,541	0,517	0,489	0,505	0,484	0,534	0,478
11	0,514	0,536	0,520	0,538	0,548	0,569	0,556	0,563	0,526	0,521	0,567	0,496	0,521	0,488
12	0,495	0,545	0,510	0,525	0,568	0,573	0,588	0,564	0,502	0,533	0,503	0,494	0,532	0,473
13	0,530	0,550	0,504	0,530	0,574	0,559	0,560	0,523	0,509	0,528	0,518	0,476	0,520	0,499
14	0,544	0,515	0,516	0,513	0,559	0,561	0,574	0,566	0,520	0,509	0,514	0,529	0,515	0,491
15	0,518	0,541	0,516	0,533	0,554	0,545	0,583	0,552	0,507	0,521	0,495	0,505	0,517	0,504
16	0,513	0,543	0,520	0,495	0,555	0,570	0,574	0,540	0,525	0,510	0,543	0,489	0,526	0,516
17	0,522	0,535	0,537	0,533	0,564	0,565	0,559	0,554	0,509	0,534	0,502	0,511	0,500	0,476
18	0,541	0,544	0,534	0,529	0,549	0,551	0,568	0,504	0,509	0,559	0,531	0,504	0,506	0,476
19	0,553	0,531	0,549	0,526	0,560	0,552	0,536	0,562	0,532	0,523	0,523	0,509	0,527	0,517
20	0,512	0,504	0,506	0,535	0,545	0,548	0,575	0,530	0,537	0,531	0,528	0,489	0,520	0,497
21	0,560	0,539	0,536	0,522	0,550	0,552	0,563	0,538	0,513	0,536	0,530	0,510	0,510	0,501

Tab. A.4: Atemminutenvolumen zu den Sitzungen 1 bis 14

Zeitpunkt	MV in Sitzung													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	11,5	12,1	11,9	12,3	12,2	12,2	13,0	12,7	12,1	12,3	11,5	11,9	11,5	12,2
2	11,0	12,9	12,0	12,4	12,2	12,2	12,0	12,3	11,7	13,0	11,7	12,1	11,7	12,0
3	11,2	11,8	12,5	12,2	11,7	11,8	12,2	12,0	11,6	12,7	11,9	12,6	11,9	11,9
4	11,2	12,1	12,4	12,1	12,0	13,1	11,9	12,6	12,4	12,4	11,4	12,6	10,7	11,4
5	11,6	11,5	12,6	12,4	12,2	11,9	12,4	12,3	11,6	12,3	11,7	13,0	11,4	12,4
6	10,7	12,1	13,3	12,1	12,4	12,3	12,3	12,7	12,4	12,2	11,5	12,7	11,9	11,9
7	11,1	11,4	11,9	12,2	12,6	12,2	12,3	12,1	11,7	12,0	11,7	13,1	10,8	12,1
8	11,2	11,3	12,0	12,1	11,5	12,1	11,4	12,5	11,8	12,1	11,3	12,1	11,3	11,6
9	11,3	11,5	11,7	12,3	12,3	12,3	12,0	11,5	11,5	12,1	11,0	12,1	10,8	11,6
10	11,1	11,4	12,2	11,9	11,5	11,8	11,2	11,6	11,2	11,4	11,1	12,2	11,4	11,0
11	10,7	11,6	11,9	12,2	11,7	12,0	11,5	11,3	11,6	12,3	12,0	12,3	10,6	11,4
12	10,3	11,9	11,4	11,8	11,8	12,3	12,3	11,6	11,1	12,1	11,0	12,2	10,8	10,5
13	11,7	12,2	11,0	11,9	11,6	12,1	11,8	11,8	11,2	12,1	10,7	12,3	10,7	11,4
14	11,3	11,1	11,6	11,8	11,8	12,3	12,2	12,1	10,9	11,5	10,9	12,7	10,7	11,7
15	11,4	11,9	11,6	11,7	12,1	12,1	11,9	11,7	11,3	11,3	10,7	11,9	11,1	11,2
16	10,9	12,0	11,8	11,6	11,7	12,0	12,3	11,6	11,3	11,5	11,8	12,0	11,1	11,6
17	11,0	11,8	11,6	11,9	11,8	12,4	11,9	11,7	11,2	12,1	11,3	12,2	11,1	11,0
18	11,0	12,3	12,1	11,7	12,0	12,0	11,7	11,7	11,0	12,4	11,7	11,5	11,3	10,9
19	11,3	11,9	12,0	11,9	12,0	12,2	11,6	11,5	11,5	12,4	11,3	12,3	11,4	11,8
20	10,8	12,0	11,2	12,0	11,9	12,3	11,7	11,7	11,8	12,1	11,4	11,8	11,4	11,4
21	11,0	11,7	12,1	11,6	12,1	12,6	12,0	11,6	11,4	12,3	11,5	12,4	11,0	11,8

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Dissertation ist bisher keiner anderen Fakultät, keiner anderen wissenschaftlichen Einrichtung vorgelegt worden.

Ich erkläre, dass ich bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe und dass eine Aberkennung eines bereits erworbenen Doktorgrades nicht vorliegt.

Greifswald, 12. Januar 2012

Ort, Datum

/Cordula Weil/