

Aus dem Bereich Anästhesie und Intensivmedizin
Klinische Medizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität des Saarlandes, Homburg/Saar

**Durchführbarkeit der sonographiegestützten Messung des gastralen
Residualvolumens enteral ernährter, chirurgischer Intensivpatienten
mittels eines miniaturisierten Ultraschallgerätes**

Dissertation

***zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät***

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2018

vorgelegt von

Jessica Skornik

geb. am 22.05.1991 in Wittlich

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	4
1.1 Abstract.....	5
2. Einleitung	6
2.1 Einführung.....	6
2.2 Anatomie des Magens.....	7
2.2.1 Abschnitte, Form, Lage.....	7
2.2.2 Wandbau.....	8
2.2.3 Gefäßversorgung, Innervation.....	9
2.3 Physiologie der Sekretion und Verdauung.....	9
2.3.1 Besonderheiten des kritisch kranken Patienten.....	10
2.3.1.1 Motilitätsstörungen und Aspirationsgefahr.....	10
2.3.1.2 Postaggressionsstoffwechsel.....	11
2.3.1.3 Hungerstoffwechsel.....	12
2.4 Ernährung des kritisch kranken Patienten.....	13
2.4.1 Parenterale Ernährung.....	13
2.4.1.1 Indikation.....	14
2.4.1.2 Applikation.....	14
2.4.1.3 Komponenten.....	15
2.4.2 Enterale Ernährung	16
2.4.2.1 Indikation.....	16
2.4.2.2 Applikation.....	17
2.4.2.3 Konzept der frühenteralen Ernährung.....	18
2.4.2.4 Konzept der enteralen Ernährung auf der „Interdisziplinären operativen Intensivstation“	18
2.4.2.5 Komplikationen.....	20
2.5 Methoden zur Bestimmung des gastralen Residualvolumens und der Magenentleerung.....	21
2.5.1 Szintigraphie	22
2.5.2 Computertomographie.....	22
2.5.3 Paracetamol-Absorptionstest.....	23
2.5.4 Atemtest.....	23
2.5.5 Refraktometrie.....	23
2.5.6 2D-Sonographie.....	24
2.5.7 Passiver Reflux test.....	25
3. Fragestellung	26
4. Material und Methodik	27
4.1 Patientenkollektiv.....	27
4.2 Datenerhebung.....	27
4.3 Software, Material und Geräte.....	28
4.4 Methodik.....	29
4.5 Statistische Verfahren.....	34
5. Ergebnisse	34
5.1 Patientenkollektiv.....	34
5.1.1 Demographische Angaben.....	34
5.1.2 Chirurgische Vorgeschichte.....	34

5.1.3	Klinische Angaben zur Schwere der Erkrankung.....	35
5.1.4	Hospitalisierung und Ernährung.....	35
5.2	Sonographische Untersuchungen.....	36
5.2.1	Durchführbarkeit der Messungen.....	36
5.2.2	Vergleich der Messergebnisse der beiden Ultraschallgeräte Standardgerät und Pocket device.....	37
5.2.3	Messzeiten.....	39
5.3	Passive Refluxtests.....	39
5.4	Korrelation der sonographisch bestimmten gastralen Residual- volumina mit den Ergebnissen der passiven Refluxtests.....	40
5.5	Korrelation der sonographisch bestimmten gastralen Residual- volumina mit den Ergebnissen der positiven passiven Refluxtests..	41
5.6	Inzidenz von Pneumonien.....	42
6.	Diskussion.....	43
6.1	Studienaufbau.....	43
6.1.1	Bewertung der Bestimmung gastraler Residualvolumina.....	43
6.1.2	Einsatz miniaturisierter Ultraschallgeräte.....	44
6.1.3	Methodik.....	45
6.2	Durchführbarkeit der Messungen.....	46
6.3	Beurteilung der Messergebnisse.....	47
6.3.1	Auskultationsbefund vs. sonographische Visualisierung von Peristaltik.....	47
6.3.2	Standardgerät und Pocket device im Vergleich.....	47
6.3.3	Benötigte Zeit für die sonographischen Messungen.....	48
6.3.4	Korrelation der sonographisch bestimmten gastralen Residualvolumina mit den Rückstauvolumina der passiven Refluxtests.....	49
6.4	Patientenbeispiel.....	49
6.5	Bewertung der Inzidenz von Pneumonien.....	50
6.6	Limitationen.....	51
6.7	Schlussfolgerung.....	51
7.	Anhang.....	54
7.1	Patientenaufklärung.....	54
7.2	Einverständniserklärung.....	56
7.3	Glossar.....	57
7.4	Abkürzungsverzeichnis.....	58
8.	Literaturverzeichnis.....	59
9.	Danksagung.....	63
10.	Lebenslauf.....	64

1. Zusammenfassung

Durchführbarkeit der sonographiegestützten Messung des gastralen Residualvolumens enteral ernährter, chirurgischer Intensivpatienten mittels eines miniaturisierten Ultraschallgerätes

Hintergrund: Die enterale Ernährung des Intensivpatienten über eine Ernährungs- oder Magensonde kann mit verschiedenen Risiken einhergehen. Zur Beurteilung der Magenentleerung kann eine gastrale Residualvolumenbestimmung (40) anhand verschiedener klinischer Methoden unterschiedlicher Validität und Standardisierung erfolgen (45). In diesem Kontext erlaubt die Sonographie die nicht-invasive quantitative sowie qualitative Bewertung des Mageninhaltes mittels Messung der Querschnittsfläche des Antrums.

Methodik: Ziel dieser prospektiven, observativen, longitudinalen Kohortenstudie war die Bewertung der Durchführbarkeit sonographiegestützter gastraler Residualvolumenbestimmung an enteral ernährten, chirurgischen Intensivpatienten. Zu diesem Zweck wurde das gastrale Volumen vor und nach einem passiven Refluxtest mit einem Standardgerät mit Konvexschallkopf sowie zusätzlich mit einem miniaturisierten Gerät mit Sektorschallkopf gemessen.

Ergebnisse: Die gastrale Sonographie war mit beiden Geräten in 100 % der Fälle und somit in 55 Durchgängen mit 660 Einzelmessungen an 30 Patienten durchführbar. Das im Mittel gemessene gastrale Residualvolumen betrug 24.08 ml mit dem Standardgerät und 24.90 ml mit dem Pocket device vor passiver Refluxkontrolle, sowie 19.86 ml/ 18.04 ml im Anschluss. Die Ergebnisse korrelieren mit hoher Genauigkeit (bias: - 0.9 ml) und Präzision (2 SD Messfehler: ± 18.4 ml) zueinander. Die im Mittel benötigte Zeit für die Messungen betrug 203 ± 62 sec mit dem Standardgerät und 194 ± 59 sec mit dem Pocket device ($p = 0.23$) vor Refluxtest, anschließend 191 ± 50 sec beziehungsweise 190 ± 53 sec ($p = 0.86$). Rückstauvolumina der in 12 Fällen positiven Refluxkontrolle ergaben 20 bis 100 ml. Werden die sonographischen Ergebnisse diesen Werten gegenübergestellt, so findet sich eine hohe Korrelation ($p = 0.08/ 0.03$). Im Vergleich mit den negativen Refluxtests ist keine Korrelation nachzuweisen. Gastrale Residualvolumina von über 30 ml waren mit einer erhöhten Inzidenz für Pneumonien assoziiert.

Schlussfolgerung: Die sonographiegestützte Messung gastraler Residualvolumina enteral ernährter, chirurgischer Intensivpatienten ist, bei hoher Korrelation der

Ergebnisse, mit einem Standardgerät und einem Pocket device durchführbar.

1.1 Abstract

Feasibility of ultrasound-based measurement of gastric residual volume with pocket ultrasound device in enterally fed, surgical critically ill patients

Background: Enteral nutrition of critically ill patients via feeding tube may be accompanied by several risks. To evaluate gastric emptying, measurement of gastric residual volume may be performed (40) by different clinical methods of different validation and standardization (45). In this context, ultrasonography allows non-invasive quantitative and qualitative assessment of gastric content by measuring the cross-sectional area of the antrum.

Methods: This prospective, observational, longitudinal study aimed to evaluate the feasibility of ultrasound-based measurement of gastric residual volume in enterally fed, surgical critically ill patients. For that purpose, gastric volume was measured before and after passive reflux control with a standard ultrasound device with curved-array transducer as well as with a pocket device with phased-array transducer.

Results: Gastric ultrasonography was feasible with both devices in 100 % of cases, consequently in 55 stages with 660 single measurements at 30 patients. The average sonographically measured gastric residual volume was 24.08 ml with standard device and 24.90 ml with pocket device before the passive reflux control, 19.86 ml/ 18.04 ml afterwards. The results correspond to each other with high accuracy (bias: - 0.9 ml) and precision (2 SD of measurement error: ± 18.4 ml). The mean amount of time for the measurements was 203 ± 62 sec for standard device and 194 ± 59 sec for pocket device ($p = 0.23$) before reflux control and 191 ± 50 sec, respectively 190 ± 53 sec ($p = 0.86$) afterwards. Drained volumes from positive reflux control in 12 cases ranged from 20 ml up to 100 ml. Compared with the results from sonographic measurements, they showed a high correlation ($p = 0.08/0.03$), while the results from negative reflux control did not show any correlation with sonographic results. Gastric residual volumes of more than 30 ml were associated with an increased incidence of pneumonia.

Conclusion: Presenting a high correlation of results. measurement of gastric residual volume of enterally fed critically ill surgical patients is feasible with standard ultrasound and pocket device, respectively.

2. Einleitung

2.1 Einführung

Die enterale Ernährung des Intensivpatienten mittels Sondenkost über eine Magen- bzw. Ernährungssonde stellt in der täglichen Routine eine besondere Herausforderung dar. Hierbei gilt es verschiedene Faktoren wie beispielsweise den klinischen Zustand, etwaige Voroperationen, die aktuelle Stoffwechsellage sowie den speziellen Metabolismus des kritisch Kranken zu berücksichtigen. Zusätzlich sind die Verträglichkeit der zugeführten Sondenkost sowie die Geschwindigkeit der Magenentleerung individuell höchst unterschiedlich (15). Zum Monitoring der Verträglichkeit bzw. der ausreichenden Magenentleerung wurde in der Vergangenheit häufig die Bestimmung des Residualvolumens des Magens durchgeführt (40). Hierzu existieren verschiedene Methoden, von denen die meisten jedoch trotz ihrer Validität in der täglichen Routine aufgrund Zeit- und/oder Kostenintensität nicht durchführbar sind (45). Somit erfährt der Reflux test die häufigste Anwendung, wobei es bei dessen Durchführung und Interpretation an Standardisierung mangelt (16). Weiterhin kann das gastrale Residualvolumen auch nicht-invasiv und bettseitig mittels Sonographie bestimmt werden. Etabliert durch Perlas et al., erfolgt hierzu die Vermessung des Magenantrums. Diese Methode erlaubt sowohl die quantitative als auch die qualitative Bestimmung des Mageninhaltes bzw. -volumens bei Personen mit einem Body Mass Index (BMI) von bis zu 40 kg/m² (49). In der Vergangenheit wurden zahlreiche Studien zu dieser Methodik veröffentlicht; demnach gilt die Anwendung bei adipösen chirurgischen (58), kritisch kranken Patienten (21) und schwangeren Patientinnen (3) als praktikabel.

In den letzten Jahren wurden vermehrt miniaturisierte Ultraschallgeräte, sogenannte „Pocket devices“, im klinischen Gebrauch etabliert. Es existieren mehrere Publikationen zu ihrem erfolgreichen Einsatz im Bereich der Echokardiographie (34) (54), der Notfallsonographie (39) und der Anästhesie (6). Im Gegensatz dazu ist die Anwendung in der Abdominalsonographie bis auf wenige Arbeiten nicht hinreichend untersucht, wobei in einer groß angelegten Studie von Colli et al. zur Erkennung abdominaler Pathologien gute Ergebnisse hinsichtlich Sensitivität und Spezifität erzielt werden konnten (14). Studien zur Anwendung von Pocket devices zur Bestimmung des gastralen Residualvolumens bei enteral ernährten chirurgischen Intensivpatienten fehlen gänzlich. Diese wären jedoch von Interesse, da die

Anwendung von Pocket devices aufgrund der schnellen Durchführbarkeit (57) und der einfachen Bedienung im klinischen Alltag von Nutzen sein könnte. So zeigte bereits eine Studie von Mjølstad 2012, dass eine zusätzliche Untersuchung mit einem miniaturisierten Gerät einen diagnostischen Vorteil bringe (43). Weiterhin könnte die bettseitige Visualisierung des Magenvolumens bei vorliegenden Passagestörungen eine frühzeitige Intervention erlauben.

2.2 Anatomie des Magens

Der Magen ist ein intraperitoneal gelegenes, zwischen Ösophagus und Duodenum geschaltetes Hohlorgan des Gastrointestinaltraktes (56), in dem die gastrische Phase des Verdauungsvorgangs stattfindet (52).

2.2.1 Abschnitte, Form, Lage

Der Magen liegt intraperitoneal in der linken Regio hypochondriaca und der Regio epigastrica. Er ist Teil des Gastrointestinaltraktes, der von oral nach aboral gegliedert ist in Cavum oris, Pharynx, Ösophagus, Magen, Duodenum, Jejunum, Ileum, Caecum, Colon ascendens, transversum, descendens und sigmoideum, Rectum und Canalis analis. Die Pars abdominalis des Ösophagus mündet in den Mageneingang, kranial lateral davon befindet sich der Fundus gastricus. Das Corpus gastricum stellt den größten Abschnitt dar. Distal des Antrum pyloricum verschließt der Canalis pyloricus den Magen vor dem Duodenum. Maßgebend für die Form des Magens sind die Krümmungen des Corpus gastricum: Die Curvatura major beschreibt den konvex geformten Bereich zwischen Fundus gastricus und Antrum pyloricum. An ihr hängt das Omentum majus, eine die gastroepiploischen Gefäße enthaltende fettgewebsreiche Peritonealduplikatur. Der konkav geformte Rand von Fundus bis zum Pylorus wird als Curvatura minor bezeichnet, von der das Omentum minus mit einem Teil der gastralen Gefäße ausgeht. Der Fundus gastricus ist dorsal des Rippenbogens unter dem Diaphragma gelegen und mit diesem über das Lig. gastrophrenicum verbunden. Das Lig. gastrosplenicum verbindet den Fundus gastricus mit der Milz. Das anteriore Corpus gastricum liegt direkt der Bauchwand oder über das Lig. gastrocolicum dem Colon transversum an. Der Corpus kann auch, über das Omentum minus verbunden, dorsal des linken Lappens und des Quadratlappens der Leber liegen. Die Hinterwand des Corpus gastricum liegt ventral

der linken Nebenniere, dem linken oberen Nierenpol und dem anterioren Teil des Pankreas (56).

2.2.2 Wandbau

Der Magen besteht, ebenso wie der gesamte Gastrointestinaltrakt, aus vier Schichten; der Tunica mucosa, Tela submucosa, Tunica muscularis und der Tunica serosa oder - adventitia. Abweichend weist der Magen strukturelle und funktionelle Besonderheiten auf.

In der Tunica mucosa von Fundus und Corpus gastricum verlaufen mikroskopisch sichtbare ausgeprägte Falten, die längs auf den Pylorus ausgerichtet sind. Areae gastricae bilden kleine Erhebungen in der Mucosa, die mikroskopisch kleine Mündungen der Foveolae gastricae darstellen. Diese Magengrübchen bilden im Zylinderepithel die Öffnungen der tubulären Magendrüsen. Die Zellen dieser Glandulae gastricae weisen unterschiedliche Merkmale auf. Hauptzellen sezernieren Pepsinogene. Parietalzellen in Fundus und Corpus bilden den Intrinsic factor. Weiterhin enthalten sie spezifische H^+/K^+ ATPasen, die H^+ -Ionen aus dem Cytosol in das Lumen der Magendrüsen befördern. Entlang dem elektrochemischen Gradienten folgende Cl^- -Ionen (56) verbinden sich mit den H^+ -Ionen zu Salzsäure (59). Die Säuresekretion wird stimuliert durch Acetylcholin aus dem N. vagus, Histamin aus endokrinen enterochromaffin-ähnlichen Zellen und Gastrin aus endokrinen G-Zellen. Somatostatin aus D-Zellen wirkt hemmend durch Suppression der Freisetzung von Histamin und Gastrin (55). Nebenzellen sezernieren Schleim, dessen enthaltenes Bikarbonat die Protonen der Salzsäure abpuffert und auf der Innenwand des Magens einen pH-neutralen Schleimhautschutz bildet (59). Ausgehend von Stammzellen wird das Drüsenepithel erneuert (56). Die Menge endogener Sekretionen wie Speichel, Magensaft und duodenaler Reflux kann täglich bis zu 4.5 Liter bzw. 188 ml/h betragen (45). Die Lamina muscularis mucosae enthält Muskelzellen, deren Kontraktionen durch Veränderung des Schleimhautreliefs die Entleerung der Magendrüsen bewirken können. Die bindegewebige Tela submucosa enthält Blut- und Lymphgefäße sowie vegetative Nerven, inkludierend den Plexus submucosus. Die Tunica muscularis weist von innen nach außen einen dreischichtigen Aufbau mit schrägen, zirkulären und längs angeordneten Muskelfasern auf. Als Erweiterung des Peritoneums bedeckt die Tunica serosa den gesamten äußeren Magen (56).

2.2.3 Gefäßversorgung, Innervation

Die arterielle Versorgung des Magens erfolgt direkt oder indirekt aus dem Truncus coeliacus aus fünf Hauptzuflüssen; den Aa. gastricae sinistra und dextra, den Aa. gastroepiploicae sinistra und dextra sowie Ästen der A. splenica (55). Die Venen begleiten die korrespondierenden gleichnamigen Arterien und drainieren direkt oder indirekt in das Pfortadersystem, namentlich die Vena portae hepatis. Die autonome Tätigkeit des enterischen Nervensystems, der Plexus submucosus und myentericus, wird ergänzt durch das vegetative Nervensystem. Die sympathische Innervation des Magens erfolgt vorwiegend über Splanchnikusnerven aus dem Ganglion coeliacum. Eine Aktivierung des Sympathikus bewirkt die Inhibition der Magenmotorik sowie Vasokonstriktion. Die parasympathischen Fasern stammen aus den Nervi vagi, aus denen die Trunci vagales anterior und posterior hervorgehen. Deren Fasern stellen den Plexus oesophageus dar, dem der Plexus gastricus entstammt. Er gewährleistet die parasympathische Innervation des Magens; eine Aktivierung resultiert in einer zunehmenden Magenmotilität und -schleimhautsekretion. Weiterhin wird die koordinierte Relaxation des Pylorus während der Magenentleerung unterstützt (56).

2.3 Physiologie der Sekretion und Verdauung

Klassischerweise wird die Verdauung in drei Phasen eingeteilt. Die cephalische, gastrische und intestinale Phase. In der cephalischen Phase bewirken Antizipation sowie der Reiz der Nahrung im Mund die neuronale Aktivierung der Medulla oblongata. Sie übermittelt efferente Signale an Speicheldrüsen und das enterische Nervensystem, worauf die parasympathische Stimulation durch Acetylcholin folgt. Die mechanische und chemische Verdauung beginnt im Mund mit der Mastikation sowie durch Sekretion von Speichelamylase und Lipase. Dem Schluckreflex, gesteuert durch das Schluckzentrum der Medulla oblongata, folgen peristaltische Kontraktionen des Ösophagus. Diese transportieren den Nahrungsbolus in den Magen, in dem die gastrische Phase der Verdauung stattfindet. Mit der Reizung gastraler Mechanorezeptoren beginnt der neuronal vermittelte Reflex der „rezeptiven Relaxation“ (52); hierbei erfüllt der Fundus bis zur weiteren Verdauung eine Reservoirfunktion für die Nahrung (55). Die mittlere gastrale Kapazität des Erwachsenen beträgt etwa 1500 ml (56). Der distale Teil des Magens treibt die Nahrung durch phasische Muskelkontraktionen zum Pylorus, die Mischung mit Säure

und Verdauungsenzymen bewirkt die Verdauung zum Chymus, der durch den tonisch kontrahierenden Pylorus in das Duodenum geleitet wird. Interdigestiv folgt eine Ruhephase, die anschließende intestinale Phase beschreibt die weitere Verdauung im Gastrointestinaltrakt aboral des Magens. Sobald Chymus das Duodenum erreicht, wird seine weitere Abgabe durch den Pylorus über neuronal und hormonell gesteuerte Feedback-Mechanismen reguliert. Weiterhin werden Magenmotilität und -sekretion gehemmt. Sekretin aus duodenalen Zellen stimuliert im Pankreas die Produktion von Bikarbonat, das den sauren Chymus neutralisiert. Die Aufnahme von Fett stimuliert die Sekretion von Cholecystkinin, dieses wiederum die Abgabe von Galle durch Kontraktion der Gallenblase. Im Dünndarm erfolgt die Verdauung und Absorption von Nährstoffen. Ein Großteil gelangt über das Pfortadersystem in die Leber und von dort in den Systemkreislauf. Im Dickdarm findet die Konzentration des Speisebreis statt, der als Stuhl durch die Massenbewegung nach aboral geleitet wird. Durch Dehnung des Rektums wird der spinale Defäkationsreflex ausgelöst (52).

2.3.1 Besonderheiten des kritisch kranken Patienten

2.3.1.1 Motilitätsstörungen und Aspirationsgefahr

Der Gastrointestinaltrakt gehört zu den im Schock primär betroffenen Organsystemen, welche sich im Verlauf nur langsam wieder regenerieren (16). Die systemische Inflammation im Rahmen von kritischer Erkrankung (40) bedingt die Entstehung eines Kapillarlecks mit intestinalen Ödemen, ausgeschüttete Zytokine behindern die Myozytenfunktion und die enterische neuromuskuläre Übertragung. Folge ist eine eingeschränkte gastrointestinale Funktion, welche sich häufig als Motilitätsstörung mit verzögerter Magenentleerung äußert (16). Ihre Entwicklung hängt sowohl mit der Grundkrankheit des Patienten zusammen, als auch mit vorausgegangenen chirurgischen Eingriffen, Stress, Immobilisierung, Nebenwirkungen von Medikamenten (z.B. Opioiden, Sedativa und Katecholaminen), neurogenen Störungen (19) (z.B. diabetische Neuropathie (5) und Rückenmarksläsionen (19)) und Hormondysregulationen. Auch die Komposition und Applikationsart enteraler Ernährung kann die Entleerung des Magens beeinflussen und unter Umständen ein erhöhtes gastrales Residualvolumen bedingen. Dieses lässt sich klinisch durch verschiedene Verfahren erfassen, die im Laufe dieser Arbeit

erläutert werden. Durch Motilitätsstörungen des Gastrointestinaltraktes und erhöhte gastrale Volumina können Komplikationen entstehen, darunter Malnutrition, verminderte Resorption von Medikamenten, bakterielle Translokation (als Ursache für eine systemische Infektion), Ileus, Darmperforation oder Peritonitis. Weiterhin bergen sie das Risiko der Regurgitation oder des Erbrechens mit nachfolgender Aspiration (16). Als Aspiration wird das Eindringen fester oder flüssiger Bestandteile aus dem Oropharynx oder dem Gastrointestinaltrakt in den Respirationstrakt bezeichnet. Mit dem Aspirat inhalierte pathogene Mikroorganismen können so in das Lungenparenchym gelangen und als Folge einer inflammatorischen Reaktion eine Pneumonie verursachen. Weitere Risikofaktoren für Aspiration sind Sedierung mit einhergehender Beeinträchtigung der Schutzreflexe, enterale Ernährung via nasogastraler Sonde, Dysphagie (5), neuromuskuläre Erkrankungen, flache Lagerung und ein Lebensalter des Patienten über 70 Jahren (40). Auch die mechanische Ventilation kann bei Akkumulation subglottischer Sekrete eine Mikroaspiration begünstigen. Beatmungsassoziierte Pneumonien treten bei 10 – 20 % der kritisch kranken Patienten auf, die länger als zwei Tage maschinell beatmet wurden (8). Bei Intensivpatienten ist insbesondere die „stille“ Aspiration häufig; wobei keine Marker ausreichender Sensitivität und Spezifität existieren, die auf diese schwerwiegende Komplikation hinweisen könnten (5). Insgesamt ist aufgrund von assoziierten Komplikationen stets auf klinische Anzeichen von Motilitätsstörungen zu achten. Darunter fallen ein distendiertes Abdomen, verminderte Darmgeräusche, Schmerzen und Ausscheidungsprobleme, die entsprechend durch Beseitigung oder Limitierung der auslösenden Faktoren therapiert werden sollten (19).

2.3.1.2 Postaggressionsstoffwechsel

Kritische Erkrankungen sowie operative Eingriffe bewirken im menschlichen Körper metabolische und endokrine Veränderungen, die u. a. der Sicherung der Vitalfunktionen dienen. Initial beschrieben ist eine wenige Stunden andauernde Akutphase. Daran schließt sich die katabole Postaggressionsphase an, die etwa drei Tage oder mehrere Wochen bestehen kann. Ab dem 4. – 10. Tag folgt die Reparations-/anabole Phase. In diesem Zusammenhang können bereits intraoperativ Konzentrationsanstiege bestimmter Hormone gemessen werden. Die Katecholaminkonzentrationen normalisieren sich meist innerhalb von Stunden,

während die ACTH- und Kortisolproduktion mehrere Tage fortbestehen kann. Adrenalin wirkt durch eine Steigerung der Glykogenolyse und Lipolyse antiinsulinär, ebenso Kortisol, welches überwiegend auf den Kohlenhydrat- und Eiweißstoffwechsel wirkt. Glukagon wird nach 24 – 48 h vermehrt ausgeschüttet und erhöht die Glukosekonzentration durch Glykogenolyse, Glukoneogenese und Lipolyse. Diese Vorgänge dienen der Energiebereitstellung. Die Antagonisierung der vorhandenen Insulinmenge durch den Einfluss erwähnter antiinsulinärer Faktoren schränkt die Glukoseverwertung ein. Somit kann eine Steigerung von Glykogenolyse und Glukoneogenese Hyperglykämien und Hyperinsulinämien zur Folge haben. Die Insulinwirkung wird weiterhin vermindert durch einen erhöhten Anteil zirkulierender Fettsäuren aus der Fettoxidation. Freie Fettsäuren induzieren in der Leber die Bildung von Ketonkörpern. Glukagon und Glukokortikoide inhibieren die Proteinsynthese in der Muskulatur und wirken katabol, bewirken also in Abhängigkeit vom Ausmaß der Postaggressionsveränderungen eine Beschleunigung des Muskelabbaus (24). Die erwähnten Veränderungen können sich insgesamt negativ auf Wundheilung und Organfunktionen auswirken und eine erhöhte Inzidenz nosokomialer Infektionen bedingen. Somit sind im Postaggressionsstoffwechsel engmaschige klinische Kontrollen des Intensivpatienten mit metabolischem Monitoring besonders wichtig, ebenso wie eine adäquate Ernährung, die einen positiven Einfluss auf den Heilungsverlauf nehmen kann (22).

2.3.1.3 Hungerstoffwechsel

Weil sich das Stoffwechselstadium kritisch kranker Patienten nicht immer sicher einschätzen lässt, kann künstliche Ernährung eine Hyper- oder Hypoalimentation bedingen (51). Speziell die Unterernährung aufgrund inadäquater Energiezufuhr bedingt den Hungerstoffwechsel, der durch einen verlangsamten Metabolismus gekennzeichnet ist. Konkret wird dabei optimierend der Blutzuckerspiegel gesenkt, die Proteinsynthese vermindert, zur Energiegewinnung vermehrt Ketonkörper produziert und der Grundumsatz herabgesetzt (24). Diese pathophysiologischen Vorgänge können sich ähnlich wie der Postaggressionsstoffwechsel negativ auf die Organsysteme auswirken (35) und überdies zur Erhöhung von Morbidität und Mortalität führen (53).

2.4 Ernährung des kritisch kranken Patienten

Zur Ernährung kritisch kranker Patienten existieren Leitlinien verschiedener Gesellschaften wie der American Society for Parenteral and Enteral Nutrition (A.S.P.E.N.), der European Society for Clinical Nutrition and Metabolism (ESPEN) und der Deutschen Gesellschaft für Ernährungsmedizin e.V. (DGEM), auf deren Empfehlungen sich die Angaben dieses Kapitels stützen.

Zur Gewährleistung einer optimalen Versorgung wird der Patient in seinem Gesamtzustand beurteilt. Dazu gehören die Einschätzung der Ernährungssituation und Stoffwechsellage sowie die Funktion des Gastrointestinaltraktes und anderer Organsysteme (35). Patienten sollten nach Aufnahme im Krankenhaus einem Screening zur Bestimmung des individuellen nutritiven Risikos unterzogen werden, das der Erkennung einer Unterernährung oder des Risikos der Entwicklung einer solchen dient. Hierzu kann z.B. das Nutritional Risk Screening 2002 (36) herangezogen werden. Zur genauen Bestimmung des Grundumsatzes wird als Methode der Wahl die indirekte Kalorimetrie angewandt. Aus Gründen der Einfachheit können auch Gleichungen herangezogen werden, die jedoch nur geringe Genauigkeit aufweisen (40). Hierzu zählen beispielsweise die Harris-Benedict-Gleichung sowie die auf kritisch kranke Patienten anwendbare Ireton-Jones-Gleichung. Ziele der adäquaten Ernährung von Intensivpatienten sind die bedarfsadaptierte Versorgung mit Nährstoffen, die Verhinderung oder der Ausgleich von Mangelerscheinungen sowie die Unterstützung der Wundheilung und Immunfunktion (35). Die metabolische Antwort auf Stress soll abgeschwächt und oxidativem Zellschaden vorgebeugt werden. Ab Beginn der Ernährungstherapie ist die Führung eines Ernährungsprotokolls empfehlenswert. Die grundsätzlich zu unterscheidenden Formen sind die parenterale und die enterale Ernährung. Werden diese einander gegenübergestellt, so besteht nach aktueller Studienlage kein signifikanter Unterschied im Outcome der Patienten (40). Unter den Intensivpatienten mit Ernährungstherapie liegt der Anteil parenteraler Ernährung bei 12 bis 71 %, derjenige für enterale Ernährung zwischen 33 und 92 % (32).

2.4.1 Parenterale Ernährung

Parenterale Ernährung beschreibt die intravenöse Zufuhr der Nahrungskomponenten, angepasst an die aktuelle Stoffwechselsituation (24). Eine

vollständige Versorgung kann auch ohne funktionsfähigen Gastrointestinaltrakt innerhalb von weniger als 24 Stunden gewährleistet werden. Zumeist ist zur Applikation die Anlage eines zentralvenösen Katheters notwendig; bei länger andauernder parenteraler Ernährung besteht eine erhöhte Rate infektiöser Komplikationen und intestinaler Atrophien (35). Zusätzlich kann eine Reduktion des lymphatischen Gewebes im Dünndarm (GALT) und eine Verminderung des sekretorischen IgA erfolgen (25).

2.4.1.1 Indikation

Parenterale Ernährung stellt entweder eine komplementäre oder vollständig bedarfsdeckende Option dar (53). Patienten mit geringem nutritiven Risiko, die enteral keine Nahrung aufnehmen können, sollten zunächst nicht alleinig parenteral ernährt werden. Wenn täglich weniger als 60 % des Energie- und Proteinziels erreicht werden, kann nach 7 – 10 Tagen die komplementäre parenterale Ernährung erfolgen. Bei Unterernährung oder hohem nutritiven Risiko ohne Möglichkeit der enteralen Nahrungsaufnahme sollte schnellstmöglich eine parenterale Supplementation eingeleitet werden (40).

2.4.1.2 Applikation

Parenterale Nahrung wird industriell als „All-in-one“-Lösung angeboten und enthält alle Komponenten, inklusive der Elektrolyte, in einem initial getrennten Dreikammersystem. Kurz vor der Infusion werden erst die wässrigen Bestandteile miteinander, dann die Fettemulsion hinzugemischt (25). Dieses Prinzip sollte separaten Behältersystemen vorgezogen werden, weil letztere mehr Manipulationen an den Zugängen erfordern, wodurch eine höhere Gefahr für Anwendungsfehler und Infektionen gegeben ist. Periphere Venenverweilkanülen können zur Infusion niedrigosmolarer Lösungen (< 850 mOsm/L) in Betracht gezogen werden. Üblicherweise wird die parenterale Ernährung jedoch über einen zentralvenösen Katheter appliziert, weil zentrale Venen eine höhere Toleranz gegenüber hyperosmolaren Lösungen aufweisen. Auf diese Weise kann der Bedarf vollständig gedeckt werden (53).

2.4.1.3 Komponenten

Falls die indirekte Kalorimetrie zur Ermittlung des Energiebedarfs nicht zur Verfügung steht, sollten Intensivpatienten im Allgemeinen 25 kcal/kgKG/d erhalten, wobei das Ziel innerhalb von zwei bis drei Tagen erhöht werden sollte.

Die minimal benötigte Menge Kohlenhydrate beträgt für Erwachsene 2 g/kgKG/d. Verfügbar sind Glukose und Nicht-Glukose-Kohlenhydrate wie Fruktose und Xylit. Die bei kritisch kranken Patienten bereits in 2.3.1.2 erwähnten Stoffwechselveränderungen bewirken durch entwickelte Insulinresistenzen eine Erhöhung des Glukosegehaltes im Blut. Hyperglykämien von > 180 mg/dl sollten vermieden werden, da sie durch Entstehung oder Aggravierung von Infektionen und Organdysfunktionen zu erhöhter Mortalität beitragen (13) (53). Ebenso zeigte eine Studie an 6104 Patienten eine Erhöhung der Mortalität bei niedrigen Blutzuckerspiegeln von 81 – 108 mg/dl (17). Bei Intensivpatienten wird somit ein Zielspiegel von 140 – 180 mg/dl empfohlen (40). Fette als integrale Bestandteile parenteraler Ernährung dienen als Energiequelle mit einem Brennwert von 9 kcal/g und als Lieferant der essentiellen Fettsäuren Linolsäure und Alpha-Linolensäure. Fette tragen durch Effekte auf Zellmembranstrukturen und Zellfunktionen zur Beeinflussung von Immunprozessen bei, bewirken Modifikationen von Entzündungsmediatoren und Änderungen in der Genexpression. Fette können mit einer Laufrate von bis zu 1.5 g/kgKG über 12 – 24 Stunden appliziert werden (53). Fettemulsionen bestehen im Allgemeinen aus einer Basis aus Soja-, Oliven- oder Fischöl mit einem Fettgehalt von 10 % oder 20 %, Triglyceriden mit mittel- oder langkettigen Fettsäuren und zumeist Phospholipiden als Emulgator (1). Die in Fischöl enthaltenen Omega-3-Fettsäuren Eicosapentan- und Docosahexansäure haben nachweislich positive Effekte auf die Infektionsrate, den Antibiotikabedarf und die Länge des Krankenhausaufenthaltes. Der Zielwert der Triglyceride sollte bei unter 250 mg/dl liegen (53).

Aminosäuren stellen Bestandteile von Transport- und Strukturproteinen von Hormonen, Mediatoren und Enzymen dar (24). Sie dienen der Bereitstellung von Vorläufern für die Proteinsynthese, um anabole Stoffwechselprozesse zu unterstützen. So soll die Funktion von Organen und Muskeln aufrechterhalten werden (1). Als Richtwert hat sich die Applikation von etwa 1.3 – 1.5 g/kg ideales KG/d balancierte Aminosäuremischung bewährt, höhere Dosen erbringen keinen

zusätzlichen Vorteil. Intensivpatienten sollten Lösungen mit 0.2 – 0.4 g/kgKG/d L-Glutamin erhalten (53). Dieses spielt u.a. eine wichtige Rolle im Protein- und Glukosestoffwechsel, ist Träger von Stickstoff und Kohlenstoff und stellt einen Vorläufer für Nukleotide dar. Von ihrer alleinigen Gabe beim Intensivpatienten soll laut aktueller Leitlinien jedoch abgesehen werden (40).

Wasserlösliche sowie fettlösliche Vitamine sollten mit Beginn der parenteralen Ernährung täglich appliziert werden (24). Bei Intensivpatienten mit einem möglichen Mangel, insbesondere bei vermutetem oder nachgewiesenem Alkoholabusus, sollte zur Vermeidung neurologischer Folgen Vitamin B1/Thiamin appliziert werden. Dies sollte in einer Dosis von 100 – 300 mg/d und innerhalb von drei Tagen nach Aufnahme erfolgen. Die Dosis der applizierten Spurenelemente sollte stets aufeinander abgestimmt sein (53).

Sobald die enterale Ernährung toleriert wird und darüber 60 % des Energiebedarfs gedeckt werden können, sollte die parenterale Ernährung überlappend ausgeschlichen und abgesetzt werden (40).

2.4.2 Enterale Ernährung

Die enterale Ernährung gilt als bevorzugte Option zur Versorgung kritisch kranker Patienten (32). Durch die Nutzung des physiologischen Weges ergeben sich Vorteile wie der Erhalt der Integrität der Magenmukosa, die Abschwächung der Immunantwort (40) und eine niedrigere Rate infektiöser Komplikationen. Nachteilig ist die Erforderlichkeit eines funktionsfähigen Gastrointestinaltraktes und die verlängerte Dauer bis zum Erreichen des Kalorienziels (9) (35). Überdies weisen 10 – 20 % der Intensivpatienten Kontraindikationen wie eine Darmobstruktion, ein Kurzdarmsyndrom, ein abdominelles Kompartmentsyndrom oder eine Mesenterialischämie auf (53).

2.4.2.1 Indikation

Bei hämodynamisch stabilen Patienten mit intaktem Gastrointestinaltrakt ohne Möglichkeit der oralen Nahrungsaufnahme sollte die enterale Ernährung auch ohne auskultatorisch vorhandene Darmgeräusche möglichst früh innerhalb von weniger als 24 – 48 Stunden nach Aufnahme beginnen. Bei hämodynamischer Instabilität sollte bis zur Stabilisierung zugewartet werden (40).

2.4.2.2 Applikation

Industriell hergestellte enterale Nährlösungen ähneln in ihrer Zusammensetzung einer regulären ausgewogenen Kost, die den Energiebedarf ebenfalls zu 50 – 55 % durch Kohlenhydrate, zu 30 – 35 % durch Triglyceride und zu 15 – 18 % durch Proteine deckt. Zusätzlich müssen Elektrolyte, Vitamine und Spurenelemente zugeführt werden (32). Prinzipiell lassen sich drei Applikationstechniken voneinander unterscheiden; an erster Stelle steht die orale Aufnahme von Nahrung oder Sondenkost. Ist dies nicht möglich und eine kurzfristige künstliche Ernährung von ca. 4 – 6 Wochen notwendig (9), wird die Anlage einer nasogastralen oder nasojejunalen Sonde mit anschließender röntgenologischer Kontrolle präferiert (25). Bei Lage des distalen Endes im Magen kann die Applikation der Ernährung mithilfe einer Infusionspumpe im Bolus oder kontinuierlich erfolgen. Bei Lage im Duodenum oder Jejunum ist eine ausschließlich kontinuierliche Gabe obligat, um ein Dumping-Syndrom zu vermeiden. Eine Enterostomie ist indiziert bei zu erwartender langfristiger künstlicher Ernährung über mehr als 30 Tage (9) und Tumorerkrankungen des Ösophagus oder Hypopharynx (25). Hierfür sind die perkutan-endoskopische Gastrostomie (PEG) als häufigste Form, sowie die perkutan-endoskopische Jejunostomie (PEJ) verfügbar. Bei kritisch Kranken besteht kein signifikanter Unterschied hinsichtlich Mortalität oder Dauer des Krankenhausaufenthaltes bei gastraler verglichen mit jejunaler Applikation. Menge und Laufrate sollten stets an den klinischen Zustand und die Toleranz angepasst werden. In der Akut- und Frühphase kritischer Erkrankung sind Nahrungsmengen von über 20 – 25 kcal/kgKG/d nicht förderlich, da sie infolge von Hyperalimentation das Outcome verschlechtern können. Lediglich Patienten mit schwerwiegender Unterernährung sollten bis zu 25 – 30 kcal/kgKG/d erhalten. In der anabolen Erholungsphase liegt das Ernährungsziel zur Unterstützung anaboler Rekonstitution regulär bei 25 – 30 kcal/kgKG/d (32). In der Regel sollten bei kritisch kranken Patienten isotonische Standardlösungen (40) mit Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen (24) verwendet werden, sie enthalten etwa 1 – 1.5 kcal/ml und werden gut vertragen. Bei persistierender Diarrhö kann der Zusatz von Ballaststoffen erwogen werden, wenn das Risiko für schwerwiegende Dysmotilität und Ischämie des Gastrointestinaltraktes ausgeschlossen worden ist. Bei zugrundeliegender Unverträglichkeit und Malabsorption kann auch niedermolekulare Sondenkost

appliziert werden. Der Einsatz immunmodulierender Nahrung mit Arginin, Glutamin und Nukleinsäuren kann erwogen werden bei Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma, schwerem Trauma und postoperativen Intensivpatienten (40).

2.4.2.3 Konzept der frühenteralen Ernährung

Die Ernährungstherapie hämodynamisch stabiler kritisch kranker Patienten mit intaktem Gastrointestinaltrakt sollte zur Verbesserung des Outcomes (26) nach dem Prinzip der frühenteralen Ernährung innerhalb von weniger als 24 – 48 Stunden nach Aufnahme initiiert werden (40). Eine Metaanalyse durch Heyland et al. von 16 randomisierten kontrollierten Studien ergab eine Reduktion von Mortalität und Infektionsrate bei früher enteraler Ernährung im Vergleich zu spät oder nicht ernährten Patienten (26). Da die Durchblutung der intestinalen Schleimhaut von der enteralen Nahrungszufuhr abhängt, ist dieses Konzept dazu geeignet, Komplikationen wie die Darmparalyse zeitlich zu verkürzen (2) oder gänzlich zu vermeiden. Somit können Struktur und Funktion des Darms möglicherweise erhalten werden (32). Insgesamt ist die frühenterale Ernährung eine therapeutische Strategie die die Schwere der Krankheit reduzieren, Komplikationen und Dauer des Aufenthaltes auf der Intensivstation verringern und einen positiven Einfluss auf das Outcome des Patienten haben kann (40).

2.4.2.4 Konzept der enteralen Ernährung auf der „Interdisziplinären operativen Intensivstation“

Die leitliniengestützte Standard Operating Procedure (SOP) der „Interdisziplinären operativen Intensivstation“ (IOI) des Universitätsklinikums des Saarlandes definiert Standards zur Ernährung von Intensivpatienten.

Bei Aufnahme sowie darauffolgend im wöchentlichen Intervall werden der Ernährungsstatus sowie das nutritive Risiko jedes Patienten mithilfe des adaptierten Nutritional Risk Screenings erfasst. Patientenspezifisch wird ein Ziel ermittelt, das täglich an den individuellen Erkrankungsverlauf angepasst wird. Der Richtwert liegt bei 24 kcal/kgKG/d. In der Phase akuter Instabilität und bei hochgradigen Zustandsverschlechterungen ist eine Ernährung nicht indiziert. In der Akutphase wird eine Gabe von 50 %, nach ihrem Überstehen von 100 % des Kalorienziels anvisiert. In der anabolen Phase können unterstützend 150 % des berechneten Kalorienziels

zugeführt werden. Eine Anpassung an die metabolische Toleranz ist stets erforderlich. Bei erhöhten Triglyceriden von über 400 mg/dl wird die parenterale Ernährung reduziert und ggf. auf Komponenten umgestiegen. Der Zielblutzuckerspiegel von 150 – 180 mg/dl wird ggf. durch einen Insulinperfusor erreicht. Der Insulinbedarf gilt als Maß für die Verwertungsmöglichkeit der zugeführten Kalorienmenge. Ein erhöhter Bedarf von 6 IE/h erfordert ebenfalls die Reduktion der Ernährung und ggf. Umstellung auf Komponenten sowie eine glukosefreie Basis. Bei Katabolie erfolgt bei Toleranz eine Steigerung der Substratzufuhr. Primäres Ziel ist die schnellstmögliche Aufnahme klarer Flüssigkeit und einer leichten Mahlzeit noch am Abend der erfolgten Operation. Anderenfalls ist die Indikation zur künstlichen Ernährung gegeben: Zur frühestmöglichen Bedarfsdeckung des kritisch kranken Patienten wird damit am ersten postoperativen Tag oder spätestens 24 h nach Aufnahme und Stabilisierung mit 10 ml/h begonnen; das Kalorienziel sollte innerhalb von 48 h erreicht werden. Die parenterale Supplementierung erfolgt bei Schwierigkeiten spätestens 72 h nach Aufnahme, bei vorhersehbaren Problemen bereits früher. Für operative Eingriffe gelten folgende Faustregeln: Bei Anastomosen am oberen Gastrointestinaltrakt erfolgt die alleinige parenterale Ernährung für fünf Tage. Bei Anastomosen am unteren Gastrointestinaltrakt geschieht ein normaler Kostaufbau. Enteral wird oral über definierte Trink- und Cremennahrung oder via Applikationssystem ernährt. Die nasogastrale Sonde stellt hierbei den Standard dar, bei gastral Intoleranz und Magenentleerungsstörung die nasoduodenale bzw. -jejunale Sonde. Bereits vorhandene Applikationswege wie die PEG und PEJ werden vorrangig genutzt. Die Anlage eines solchen perkutanen Systems sollte erwogen werden bei voraussehbar langfristig erschwerter bedarfsdeckender Ernährung. Der Kostaufbau geschieht bis zur Toleranz des Zielflusses mit isokalorischer Nahrung. Zur Bedarfsdeckung wird danach ggf. auf hochkalorische Nahrung umgestellt. In der aufgenommenen Kalorienmenge wird auch oral zugeführte Kost berücksichtigt sowie bei relevanter Dosierung Arzneimittel wie Propofol oder Infusionslösungen wie Sterofundin BG-5 und Glucoselösung G5%. Die enterale Ernährung wird in 45-Grad-Oberkörperhochlagerung kontinuierlich über fünf Stunden appliziert, gefolgt von einer Pause und Refluxtest. Hierzu wird die Nahrungszufuhr angehalten und die Sonde mit 20 ml Wasser gespült. Sie wird für 30 Minuten abgeklemmt und dann an einen

Sekretauffangbeutel angeschlossen, der für weitere 15 Minuten unter Magenniveau gehängt wird. Bei Rückflussmengen unter 150 ml erfolgt die Steigerung der Laufrate und ggf. Reduktion der parenteralen Ernährung. Bei einem Rückstau von über 150 ml werden 150 ml zurückgegeben, die Laufgeschwindigkeit reduziert sowie ggf. die parenterale Ernährung gesteigert. Nach Erbrechen oder schwerer Diarrhö folgt ein vierstündiges Pausieren. Mengen unter 300 ml/24 h sind als normale, über 300 ml/24 h als eingeschränkte Magenentleerung zu interpretieren. Von ihrer vollständigen Hemmung ist bei Rückflüssen von mehr als 1000 ml/24 h auszugehen. Motilitätsstörungen sollten zunächst konservativ durch Mobilisation und Colonmassage therapiert werden. Pharmakologische Darmstimulation kann über bis zu drei Tage erfolgen, dann sollte ein Ruhetag angeschlossen werden. Im Allgemeinen ist die Voraussetzung für eine gute Versorgung des Patienten die sorgfältige Pflegedokumentation aller ernährungsbezogenen Informationen, assoziierter Komplikationen wie Erbrechen, Diarrhö und Rückstau, der Bilanzierung der Ausscheidung sowie die Führung eines Ernährungsprotokolls, damit bei der täglichen Visite nach der klinischen Untersuchung die Reevaluation der Situation unter allen klinisch relevanten Aspekten erfolgen kann (18).

2.4.2.5 Komplikationen

Bei künstlicher enteraler Ernährung können mechanische Komplikationen wie akzidentelle Dislokation, Bruch, Leck oder Verstopfen der Sonde entstehen, weiterhin Ulzera der Haut oder Mukosa. Bei Enterostomien können vorrangig Wundinfektionen und peristomale Lecks auftreten. Häufige metabolische Komplikationen sind die Hyper- und Hypoglykämie sowie das Refeeding-Syndrom. Dieses tritt auf bei Wiederernährung nach Zeiten der Unter- oder Mangelernährung und geht einher mit Ungleichgewicht der Elektrolytkonzentrationen, Flüssigkeitsverschiebung, Wassereinlagerung und konsekutiver Nierenfunktionsstörung (9). Auch der Säure-Basen-Haushalt sollte aufgrund potenzieller Störungen regelmäßig kontrolliert werden (32). Die überwiegenden Komplikationen betreffen die gastrointestinale Funktion: Übelkeit und Erbrechen treten in 10 – 20 % auf, u.a. durch zu hohe Infusionsraten (42). Bei Intoleranz der Ernährung sollte die Gabe motilitätssteigernder Pharmaka wie Metoclopramid oder Erythromycin erwogen werden (40). 80 % der Intensivpatienten leiden unter Diarrhö, deren Ursache

multifaktoriell sein kann; zu rasche Steigerung der Kostmenge, zu schnelle Applikation, zu kalte Sondenkost, mangelnde Verträglichkeit durch Laktoseintoleranz oder Fettmalabsorption oder Veränderung der Darmflora durch Medikamente wie Antibiotika und damit z.B. assoziierte Gefährdung für Clostridium difficile-Infektionen. Innerhalb der ersten drei Tage nach Beginn der enteralen Ernährung weisen Intensivpatienten das höchste Risiko für das Auftreten erhöhter gastraler Residualvolumina auf (42). Diese, sowie Rückfluss durch Gravitation und gastroösophagealer Reflux begünstigen Regurgitation und Aspiration (9). In einer Studie von Metheny et al. konnte bei 89 % von 360 enteral via nasogastraler Sonde ernährten Intensivpatienten mindestens ein Aspirationsereignis beobachtet werden. Bei weniger als 1 % des Kollektivs wurde die Aspiration klinisch apparent, die restlichen verliefen still. Da sie häufiger bei in Rückenlage ernährten Patienten dokumentiert werden (41), wird die Ernährung in Oberkörperhochlagerung im 30-45-Grad-Winkel empfohlen. Bei hohem Aspirationsrisiko sollte zur Senkung der Komplikationsrate das distale Ende der Ernährungssonde postpylorisch platziert werden. Grundsätzlich wird die tägliche Mundpflege mit Chlorhexidin zur Senkung der Rate respiratorischer Infektionen empfohlen. Weiterhin können Verfahren zur gastralen Residualvolumenbestimmung eingesetzt werden (40).

2.5 Methoden zur Bestimmung des gastralen Residualvolumens und der Magenentleerung

Raidoo et al. definierten in einer tierexperimentellen Studie an Affen einen Wert für das gastrale Residualvolumen, ab dem das Risiko für eine schwere Aspiration gesteigert ist und eine erhöhte Mortalität zur Folge hat. Dieser Wert liegt übertragen auf den Menschen bei 25 – 50 ml bzw. $> 0.8 \text{ ml/kgKG}$ (50). Das Residualvolumen ist umso höher, je schwerer die Krankheit des Patienten anhand von APACHE II-Score definiert ist (27). Somit ist insbesondere bei enteral ernährten Intensivpatienten die Erkennung verzögerter Magenentleerung (40) und damit einhergehender verminderter Toleranz der Ernährung (45) von hoher Relevanz. Aus diesem Grund unterliegen diese Patienten täglich der klinischen Untersuchung sowie der Kontrolle von Stuhlpassage und radiologischen Befunden. Zusätzlich wird in vielen Kliniken das gastrale Volumen bestimmt (40). Moreira et. al. verglichen 2009 in einer Metaanalyse der vergangenen 25 Jahre die gängigsten Verfahren zur Bestimmung

von Magenentleerung und gastralen Volumina (45). Die Ergebnisse dieser Methoden sollten nach dem Stand aktueller Leitlinien vorsichtig interpretiert werden. Als Richtwert sollten gastralen Residualvolumina von 200 – 500 ml Maßnahmen zur Minderung des Aspirationsrisikos folgen. Solche über 500 ml sollten erst bei Bestehen weiterer Hinweise auf Intoleranz der Ernährung zur Pausierung der enteralen Kost führen (40). Die folgende Aufstellung gastraler Volumenbestimmungen erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, es werden lediglich ausgewählte Methoden beschrieben.

2.5.1 Szintigraphie

Die Szintigraphie gilt als Goldstandard zur Erfassung des gastralen Residualvolumens. Dem Patienten wird eine mit radioaktiven Isotopen (z.B. Technetium-99) markierte Speise zugeführt. Radioaktivitätsmessungen über eine Gamma-Szintillationskamera visualisieren die Magenentleerung über einen Zeitraum von 2 – 4 Stunden. Die Methode gilt als nicht-invasiv und reproduzierbar. Nachteilig sind die Strahlenbelastung sowie die eingeschränkte Praktikabilität durch Kosten- und Zeitintensität. Weiterhin unterliegt das Verfahren Einflussvariablen wie der Tageszeit, der vorab erfolgten Medikation und der Zusammensetzung der Testmahlzeit. Die meisten Studien existieren zu Messungen an Patienten die eine solide Mahlzeit zu sich nehmen konnten, dies ist in der Intensivmedizin allerdings nicht praxisnah (45).

2.5.2 Computertomographie

Die Computertomographie (CT) erlaubt als bildgebendes Verfahren die direkte Quantifizierung des Mageninhaltes. Dazu werden in jedem digitalen Schnittbild die Umrisse des Magens mit dem Cursor nachgezeichnet und das Volumen maschinell berechnet. So ist es möglich, entweder das alleinige Volumen des soliden bzw. flüssigen Inhaltes oder das Gesamtvolumen mit enthaltener Luft zu berechnen. Nachteilig ist die fehlende Praktikabilität: Aufgrund hoher Strahlenbelastung eignet sich das Verfahren nicht zur alleinigen Bestimmung des gastralen Volumens, sondern eher als Zusatz im Rahmen einer aus anderer Indikation durchgeführten CT-Untersuchung (21).

2.5.3 Paracetamol-Absorptionstest

Für den Absorptionstest werden 1 – 2 g Paracetamol in Wasser gelöst und dem Patienten oral zugeführt. Weil das Pharmakon erst im Duodenum absorbiert wird, lässt seine Konzentration im Plasma, die durch Blutentnahmen in mehreren Zeitintervallen bestimmt wird, indirekt auf die Magenentleerung schließen. Die Konzentration kann beeinflusst werden durch den individuellen First-Pass-Effekt, die Elimination und Perfusion des Gastrointestinaltraktes. Der Absorptionstest ist nicht für unterschiedliche Krankheitsbilder und Intensivpatienten validiert, erfordert somit noch weitere Untersuchungen und Standardisierung (45).

2.5.4 Atemtest

Der Atemtest zeigt hinsichtlich der Genauigkeit der Messergebnisse eine hohe Korrelation zur Szintigraphie (7). Eine Testmahlzeit wird mit einem stabilen nicht radioaktiven Isotop, z.B. Carbon-13 (^{13}C) markiert. Die Speise enthält ebenfalls Oktansäure oder Natriumacetat, die erst im Duodenum absorbiert werden. Von dort ausgehend wird das Isotop in der Leber zu $^{13}\text{CO}_2$ oxidiert, dessen Konzentration in der Atemluft über 3 – 6 Stunden gemessen wird. Diese wird determiniert von der Dauer der Magenentleerung. Die Methode ist bettseitig durchführbar, erfordert aber einen hohen Zeit- und Arbeitsaufwand (45).

2.5.5 Refraktometrie

Zu verschiedenen Zeitpunkten wird Magenaspirat gewonnen und mithilfe eines Refraktometers dessen Brechungsindex bestimmt. Weil dieser eine physikalische Eigenschaft von Flüssigkeiten darstellt, ist die Messung jederzeit reproduzierbar. Da mit steigender Konzentration der Wert des Brechungsindex sinkt, kann die Verdünnung des Mageninhaltes gemessen und dadurch auf die Magenentleerung geschlossen werden. Es kann aufgrund verschiedener Brechungsindizes der Flüssigkeiten zwischen endogener Sekretion und Sondenkost unterschieden werden. Die Refraktometrie kann bettseitig, auch beim Intensivpatienten, durchgeführt werden, hat sich aber bis heute nicht in der klinischen Routine durchgesetzt (45).

2.5.6 2D-Sonographie

Die Sonographie ermöglicht nichtinvasiv eine direkte qualitative und quantitative Einschätzung des Mageninhaltes. Weil eine Messung in Rückenlage zur mengenmäßigen Unterschätzung des gastralen Volumens führen würde, sollte sich der Patient in Rechtsseitenlage befinden. In dieser Position sammeln sich Luft und Gas im Bereich des Korpus und Fundus, während der Mageninhalt sich gravitationsbedingt präferentiell im Bereich des Antrums konzentriert (49). Dieser anatomische Abschnitt ist in der 2D-Sonographie von besonderem Interesse, weil die Querschnittsfläche des Antrums und das Magenvolumen eine nahezu lineare Korrelation zueinander aufweisen (48). Der Schallkopf wird im Sagittalschnitt auf das Epigastrium gehalten. Durch leichte Drehung in der Sagittal- bzw. Parasagittalebene (49) kommt an der Spitze oder dorsal des linken Leberlappens eine ringförmige Struktur zur Darstellung; das sonographische Korrelat des Antrum pyloricum. Die Pars cardiaca und das Corpus gastricum lassen sich aufgrund der enthaltenen Luft erschwert abbilden (20). Am ruhenden Magen, zeitlich gesehen außerhalb peristaltischer Kontraktionen, werden in sagittaler und transversaler Ebene zwei senkrecht zueinander stehende Durchmesser des Antrums bestimmt. Die Messung erfolgt von Serosa zu Serosa (49). Weil die Form des Antrumquerschnitts als Ellipse betrachtet wird, kann seine Fläche anhand folgender Formel errechnet werden:

$$CSA = \frac{CC * AP * \pi}{4} \quad (48)$$

CSA = cross-sectional area (Querschnitt des Antrum pyloricum in cm²)

CC = kraniokaudaler Durchmesser des Antrum pyloricum in cm

AP = anteroposteriorer Durchmesser des Antrum pyloricum in cm (48)

Alternativ kann mittels Freihand-Funktion des Ultraschallgerätes das Antrum vermessen werden, indem die Serosa von außen umfahren wird (37). Zur Berechnung des gastralen Volumens validierten Perlas et al. 2013 eine mathematische Formel, die Einflussvariablen wie das Geschlecht, das Alter und den BMI des Patienten berücksichtigt.

„ $Volume = 27.0 + 14.6 * Right-lat\ CSA - 1.28 * age$ “ (49)

Right-lat CSA = CSA in Rechtsseitenlage

Die Formel wurde validiert an nicht graviden Patienten mit einem BMI bis 40 kg/m². Mit ihr lassen sich Volumina von 0 – 500 ml berechnen (49). Wenn das Antrum sonographisch eine sehr kleine Querschnittsfläche aufweist, können aus der Rechnung negative Werte resultieren, die einen inhaltslosen Magen repräsentieren. Die Methode der ultraschallgestützten Messung des gastralen Volumens weist eine geringe Intra- und Interrater-Variabilität sowie eine sehr gute Intra- und Interrater-Reliabilität auf (37).

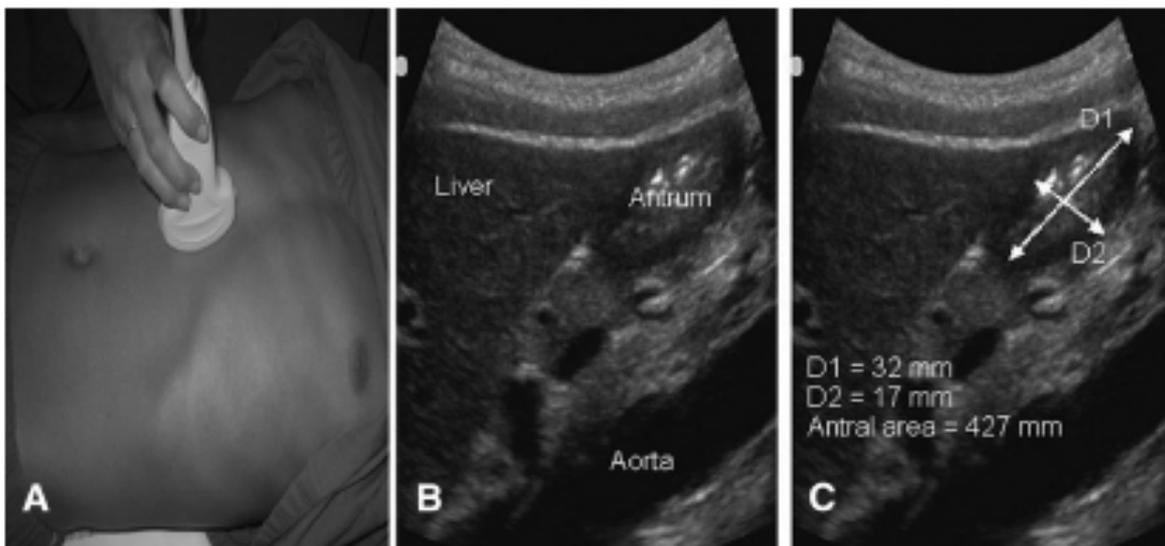


Abb. 1 Vermessung der Querschnittsfläche des Antrum pyloricum (CSA) (Bouvet L, Allaouchiche B, Benhamou D, Boselli E, Chassard D, Mazoit JX (2011) Clinical assessment of the ultrasonographic measurement of antral area for estimating preoperative gastric content and volume, Anaesthesiology 114 (5): 1087)

2.5.7 Passiver Reflux test

Bei dem Reflux test werden Rückstauungen über die liegende Magensonde bestimmt. Die Kontrolle sollte in der Regel ein Mal pro Schicht erfolgen. Hierzu wird die Ernährungspumpe abgestellt und die Magensonde für 30 Minuten mit angeschlossenem Sekretbeutel auf Ablauf gestellt. Die jeweils passiv drainierten Mengen werden über 24 Stunden summiert und in Relation zur Magensaftsekretion sowie zur zugeführten Ernährung gesetzt (23). Die Beeinflussung des Rückflusses durch verschiedene Variablen wie endogene Sekretion (45), die Viskosität des

Mageninhaltes, die Größe des Sondenlumens und die Art des Verbindungsstückes zum Reservoirbeutel sowie die Dauer des Tests wird als Nachteil dieser Methode bewertet (16).

3. Fragestellung

Wie einleitend erläutert wurde, sind kritisch kranke Patienten aufgrund der Besonderheiten ihrer Physiologie und ihres Stoffwechsels sowie verschiedener prädestinierender Faktoren im Laufe ihres Krankenhausaufenthaltes anfälliger für Risiken und Komplikationen (16). Motilitätsstörungen spielen insbesondere bei enteraler Ernährung (5) (8) (16) und folglich erhöhten gastralen Residualvolumina, aufgrund eines daraus resultierenden gesteigerten Risikos für Regurgitation und Aspiration, eine große Rolle (40) (42). In diesem Kontext existieren verschiedene Methoden zur Bestimmung des gastralen Residualvolumens. Durch sie ist es zwar möglich, eine verzögerte Magenentleerung und mangelnde Toleranz der Ernährungslösung zu detektieren, jedoch sind die meisten Verfahren nicht für Intensivpatienten standardisiert oder validiert (45). In den letzten Jahren konnten mehrere Studien die Validität der sonographischen Bestimmung des gastralen Residualvolumens bei verschiedenen Patientenpopulationen zeigen (3) (21) (58), allerdings ebenfalls nicht bei kritisch kranken Patienten nach chirurgischen Eingriffen. Zudem wurden, mit einer Ausnahme (6), in allen Studien Standard-Ultraschallgeräte verwendet, die in der täglichen Anwendung auf der Intensivstation zum Teil mehrere Nachteile mit sich bringen. In diesem Zusammenhang konnten in den letzten Jahren miniaturisierte Ultraschallgeräte in der Akut- und Intensivmedizin (34) (39) (54) etabliert werden; durch ihre Anwendung können bettseitig schnell zusätzliche Informationen gewonnen werden.

Aus diesem Grund war es das Ziel dieser Untersuchung, die Durchführbarkeit der ultraschallgestützten Bestimmung des gastralen Residualvolumens unter Anwendung eines miniaturisierten Ultraschallgerätes bei enteral ernährten Intensivpatienten einer interdisziplinären operativen Intensivstation zu evaluieren. Hierbei sollte bewertet werden, ob das „Pocket device“ im Rahmen der Untersuchung in Gebrauch, Genauigkeit und Zeitaufwand, verglichen mit einem Standardgerät desselben Herstellers, signifikante Vor- oder Nachteile aufweist.

4. Material und Methodik

Nach Genehmigung des Ethikantrages durch die Ärztekammer des Saarlandes (Ha166/14) wurde im Zeitraum von Oktober 2014 bis September 2015 eine prospektive, observative, longitudinale Kohortenstudie an 30 Patienten der „Interdisziplinären Operativen Intensivstation“ (IOI) am Universitätsklinikum des Saarlandes in Homburg (Saar) durchgeführt.

4.1 Patientenkollektiv

In die Studie wurden alle Patienten eingeschlossen, die Sondenkost über eine nasogastrale Magen- oder Ernährungssonde erhielten. Nach Möglichkeit wurden sie im Laufe ihres Aufenthaltes auf der IOI mehrfach untersucht. Aus Gründen der eingeschränkten oder nicht möglichen Durchführbarkeit der Untersuchung wurde folgendes Kollektiv ausgeschlossen: Lebensalter unter 18 Jahren, Zustand nach stattgehabter operativer Gastrektomie, Patienten in Bauchlagerung und schwangere Patientinnen. Andersartige vorausgegangene Operationen oder Diagnosen stellten kein Ausschlusskriterium dar. Die Patienten, oder wenn nicht anders möglich, deren Angehörige oder gesetzliche Betreuer wurden mündlich und schriftlich über die Studie aufgeklärt. Mit vorliegender unterschriebener Einverständniserklärung wurde die Durchführung der Studie zum nächstmöglichen Zeitpunkt begonnen. Alle Untersuchungen wurden von der Autorin selbst durchgeführt, die vor der eigentlichen Datensammlung testweise in einer Vorbereitungsphase 50 Versuchsabläufe absolvierte. Deren Ergebnisse fließen nicht in die Studie ein.

4.2 Datenerhebung

Zur deskriptiven Beschreibung des Probandenkollektivs wurden verschiedene Daten erhoben und dokumentiert. Dazu gehörten demographische Daten wie das Alter, Geschlecht, Gewicht, die Größe und der BMI der Patienten sowie klinische Daten wie die Hauptdiagnose und vorausgegangene Operationen nach Organsystemen, chronische Erkrankungen wie Diabetes mellitus, koronare Herzkrankheit und Schlaganfall in der Vergangenheit. Genaue Angaben zum Aufenthalt im Krankenhaus bzw. der Intensivstation wurden erfasst, wie z.B. die Dauer der Hospitalisierung und der eventuell eingetretene Todesfall. Die Schwere der Erkrankung wurde anhand von APACHE II-Score und SAPS II bewertet. Aktuelle Laborwerte, Beatmungs- sowie

Vitalparameter wurden ebenso aufgenommen wie die Gabe von Medikamenten wie beispielsweise Katecholaminen oder Analgosedativa. Alle relevanten Daten zur enteralen Ernährung wie die Laufzeit, die applizierte Menge pro Stunde und etwaiges Erbrechen seit der zuletzt erfolgten Refluxkontrolle wurden erhoben. Der komplette Datensatz wurde anonymisiert.

4.3 Software, Material und Geräte

Die Autorin erfasste und dokumentierte die patientenbezogenen Daten aus dem Betriebssystem „COPRA 5“ und nutzte „Apache Open Office 4.0.1“ zur Tabellenkalkulation. Weiterhin wurde die Software „SAP 720“ zur Bewertung relevanter Röntgenbilder herangezogen.

Den in die Studie eingeschlossenen Patienten war im Vorfeld aus medizinischer Indikation zur enteralen Ernährung eine nasogastrale Sonde aus Silikon eingeführt worden („Nutricia Flocare“, 14 Charrière). Die im Studienzeitraum auf der IOI eingesetzte Standardlösung („Fresenius Kabi Fresubin Original Fibre“) wurde mittels Überleitsystem („Fresenius Kabi APPLIX Smart/ Vision Easy Bag“) an die Ernährungspumpe („Fresenius Kabi APPLIX Smart“) angeschlossen. Das Überleitsystem wurde mit der eingeführten nasogastralen Sonde verbunden und dem Patienten darüber die Kost verabreicht. Für den Refluxtest wurde ein Sekretbeutel („Fa. Asid Bonz“) mit 2000 ml Fassungsvermögen verwendet. Im Studienzeitraum wurden bei jeder Untersuchung zwei unterschiedliche Ultraschallgeräte verwendet; das Standardgerät „Vivid i9, Fa. GE Healthcare“ mit Konvexschallkopf (1.6 – 6.0 MHz) und das miniaturisierte Ultraschallgerät „V-Scan, Fa. GE Healthcare, Pocket device“ mit Sektorschallkopf (1.7 – 3.8 MHz), der laut Herstellerangaben auch für die abdominelle Sonographie geeignet ist (30). Für die Untersuchungen wurde zur optimalen standardisierten Einstellung jeweils das Programm „abdominell“ gewählt.



Abb. 2 Vivid i9, Fa. GE Healthcare

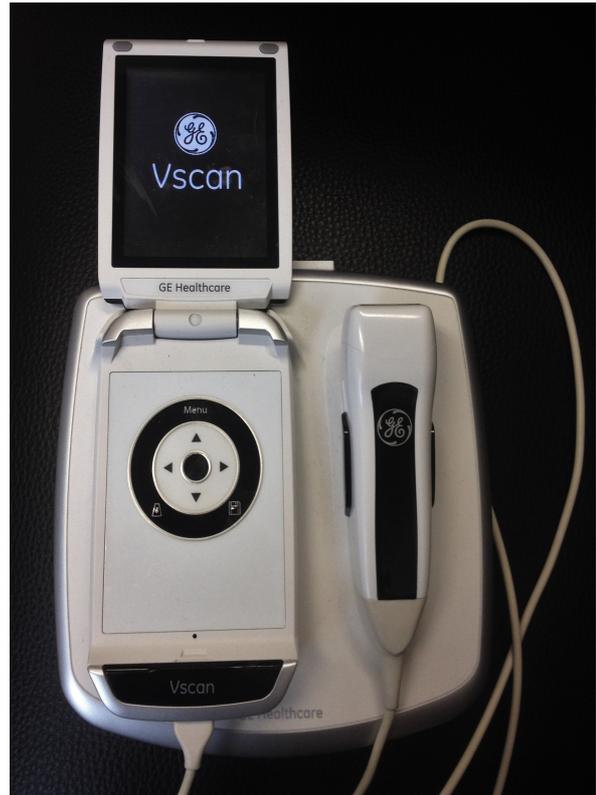


Abb. 3 V-Scan, Fa. GE Healthcare, Pocket device

Als Ultraschallgel wurde „Aquasonic100 Ultraschallgel Dispenser“ („Fa. C+V Pharma Depot GmbH, Versmold, Germany“) auf Wasserbasis mit einem pH-Wert von 6.5 – 6.95 verwendet.

Die statistischen Datenanalysen wurden mit „GraphPad Prism 5.03“ („GraphPad Software, San Diego, CA, USA“) durchgeführt. Für die Literaturrecherche wurden „Pubmed“ sowie Internetsuche und zur Literaturverwaltung „EndNote X7 (Bld 7072), Thomson Reuters“ verwendet. Zudem wurde in der Medizinischen Abteilung der Saarländischen Universitäts- und Landesbibliothek in Homburg (Saar) recherchiert.

4.4 Methodik

Der Versuch bestand aus der Durchführung eines passiven Refluxtests bei den Probanden mit vor- sowie nachgeschalteter sonographischer Vermessung des Magenantrums zum Zwecke der gastralen Volumenbestimmung. Der Versuchsablauf, den die Autorin selbständig durchführte, gestaltete sich wie folgt: Zur Vorbereitung auf den Refluxtest wurde die enterale Ernährung pausiert. Die intragastrale Lage des distalen Endes der Magen- oder Ernährungssonde wurde

zunächst unter Luftinsufflation mit einer 50 ml-Spritze auskultatorisch substernal mit einem Stethoskop kontrolliert. Anschließend wurde die Sonde über eine Spritze mit 20 ml Wasser gespült und aspiriert, um ihre Durchgängigkeit sicherzustellen. Zusätzlich wurde die korrekte Lage anhand eines Röntgen-Thoraxbildes des jeweiligen Tages verifiziert. Im Folgenden wurde die Sonde für 30 Minuten abgeklemmt. Der Patient wurde in Rechtsseitenlage gelagert. Fünf Minuten vor Ablauf der Zeit wurde das Abdomen auskultiert und etwaig vorhandene Darmgeräusche dokumentiert. Die erste sonographische Untersuchung wurde begonnen, indem Ultraschallgel auf das Abdomen gegeben wurde. Zunächst wurde der Magen-Darm-Trakt sonographisch nach sichtbarer Peristaltik gescannt. Zur Vermessung des Magens wurde die in 2.5.6 beschriebene Methodik von Perlas et al. angewandt (49). Nacheinander wurden mit dem Standardgerät drei Messungen durchgeführt und die Bilder gespeichert (Abb. 4). Selbiges wurde mit dem Pocket device durchgeführt (Abb. 5).

Die für die Untersuchungen benötigte Zeit wurde dokumentiert. Aus den jeweils drei Messungen der beiden Geräte wurden die jeweiligen Durchschnittswerte ermittelt und davon ausgehend das gastrale Volumen nach Perlas et al. berechnet (48) (49). Nach Ablauf der 30 Minuten Abklemmzeit wurde ein Sekretaufangbeutel an die Magen- bzw. Ernährungssonde angeschlossen, unter das Magenniveau gehängt und die Sonde wieder geöffnet. Weitere 30 Minuten später wurde der Beutel entfernt und sein quantitativer Inhalt bestimmt; das Rückstauvolumen. Im Anschluss wurde erneut das Abdomen auskultiert und die bereits beschriebenen Ultraschalluntersuchungen und Messungen nochmals durchgeführt (Tab. 1). Demnach lagen jeweils zwei errechnete Werte für gastrale Volumina vor sowie nach dem Refluxtest vor, die mit zwei unterschiedlichen Ultraschallgeräten ermittelt worden waren. Die Angaben wurden im Messprotokoll (Tab. 2) dokumentiert und archiviert.

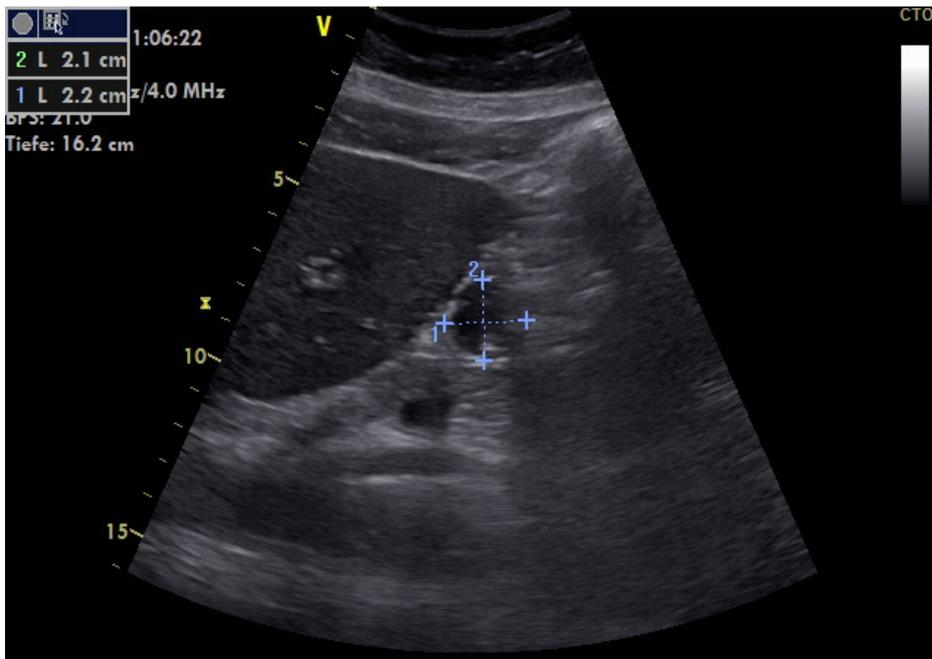


Abb. 4 Gastrale Sonographie und Bestimmung der Querschnittsfläche des Antrums mit dem Standardgerät

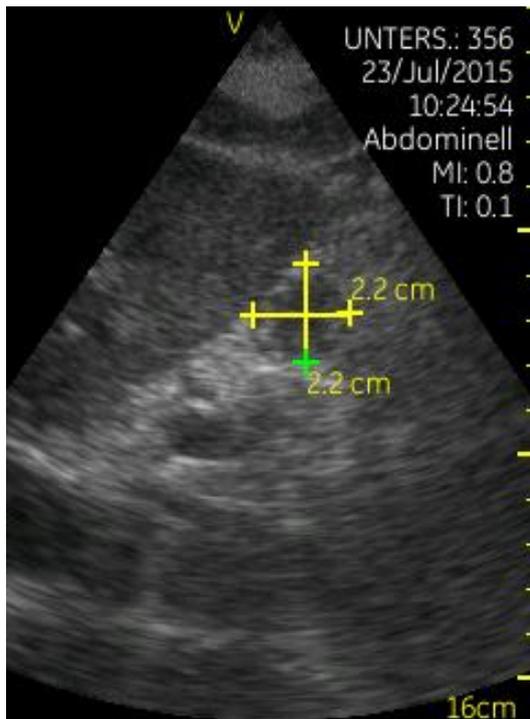
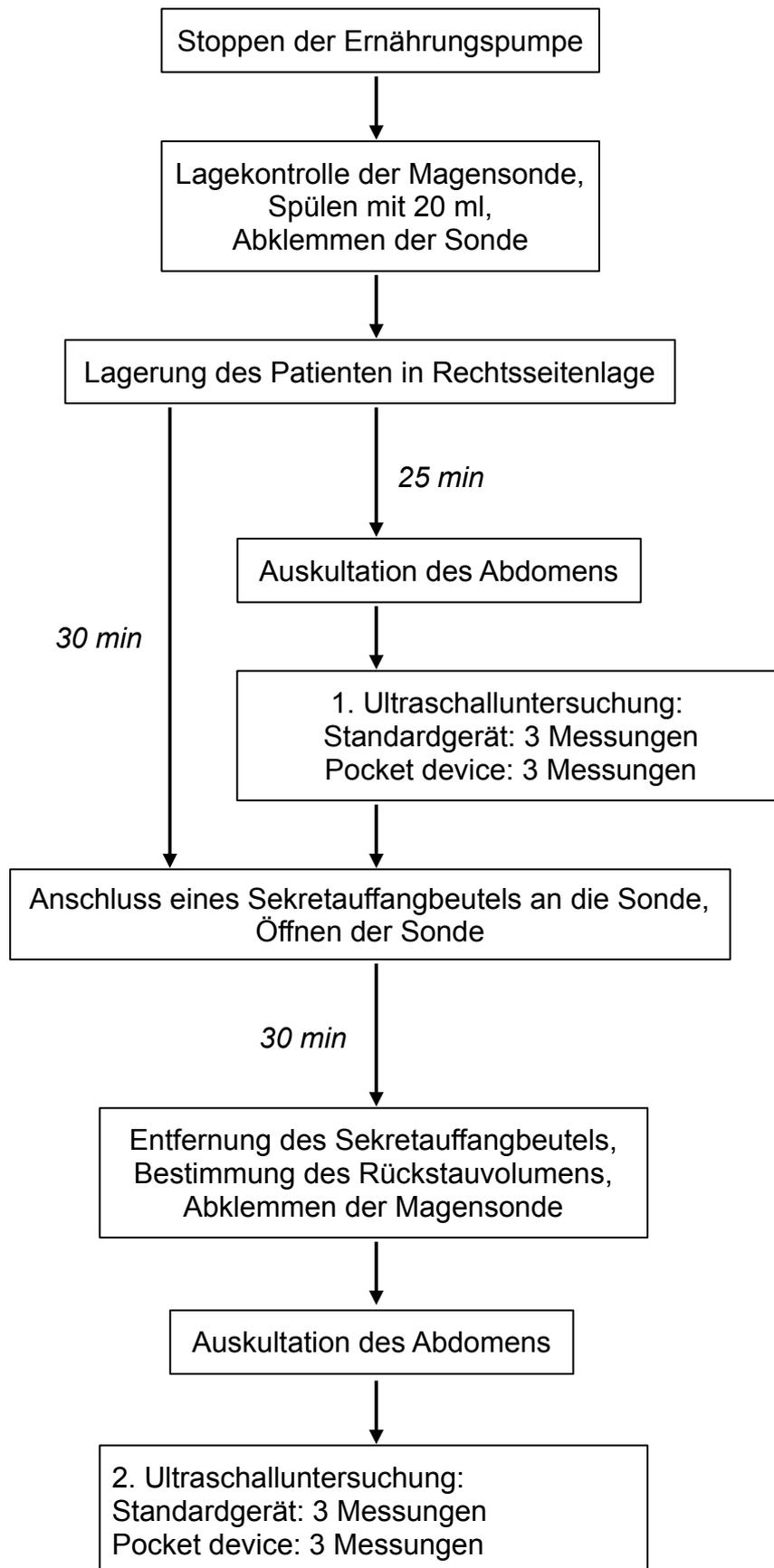


Abb. 5 Gastrale Sonographie und Bestimmung der Querschnittsfläche des Antrums mit dem Pocket device

Abb. 4 und 5: Dargestellt sind Querschnitte des Antrum pyloricum, die mithilfe zweier senkrecht zueinander stehender Durchmesser von Serosa zu Serosa vermessen wurden. Der echofreie Randsaum wurde mitgemessen, da er das sonographische Korrelat zur Lamina muscularis des Magens darstellt (37). Beide Abbildungen stammen aus derselben Untersuchung beim gleichen Patienten der Studie.



Tab. 1 Flussdiagramm des Versuchsablaufs

Lfd. Nr.:**Datum:****Pat.- Etikette:****t0 Beginn Sondenernährung****t1 Ernährung Stopp. Magensonde abklemmen.**

Zeit seit letztem Refluxtest (h)		
Laufgeschwindigkeit der enteralen Ernährung bis Refluxtest (ml/h)		
Verabreichte Sondennahrung seit letztem Refluxtest (ml)		
Emesis seit letztem Refluxtest?	Ja: Menge (ml)	Nein

t2 25 min. später

Auskultatorisch Darmgeräusche vorhanden?	Ja	Nein	
Sonographie	2D		Pocket device
Peristaltik sichtbar?	Ja	Nein	
Maße 1 (mm)			
Maße 2 (mm)			
Maße 3 (mm)			
Volumen V Magen 1 (ml)			
Benötigte Zeit (sec)			

t3 Sekretaufangbeutel anschließen, unter Magenniveau hängen. Sonde öffnen.**t4 30 min. später Beutel entfernen, Sonde abklemmen.**

Auskultatorisch Darmgeräusche vorhanden?	Ja	Nein	
Sonographie	2D		Pocket device
Peristaltik sichtbar?	Ja	Nein	
Maße 1 (mm)			
Maße 2 (mm)			
Maße 3 (mm)			
Volumen V Magen 2 (ml)			
Benötigte Zeit (sec)			
V Beutel (ml)			

Tab. 2 Messprotokoll

4.5 Statistische Verfahren

Der exakte Fisher-Test wurde für dichotome Variablen durchgeführt. Für stetige Variablen wurden die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen anhand des (Student) t-Test verglichen, bzw. Welch-Test im Falle von inhomogenen Varianzen. Kontinuierliche Variablen wurden als mittlere Abweichung und Standardabweichung ausgedrückt. Zweiseitige p-Werte von weniger als 0.05 wurden als statistisch signifikant gewertet. Die Linearität der Ergebnisse der Ultraschalluntersuchungen zu den Refluxtests wurde mit dem Pearson-Korrelationskoeffizienten bestimmt. Zum Vergleich der Messungen von Standardgerät und Pocket device wurden die Daten in einem Bland-Altman-Diagramm dargestellt, Genauigkeit und Präzision wurden berechnet.

5. Ergebnisse

5.1 Patientenkollektiv

Im Rahmen der Untersuchung wurden 30 Patienten rekrutiert. Diese wurden im Laufe ihres intensivmedizinischen Aufenthaltes auf der IOI mehrfach untersucht, solange die medizinische Indikation zur enteralen Ernährung über eine nasogastrale Sonde bestand. Insgesamt wurden 55 Untersuchungen und somit 660 Einzelmessungen durchgeführt und ausgewertet.

5.1.1 Demographische Angaben

Von den 30 Patienten waren 10 (33.3 %) weiblichen und 20 (66.6 %) männlichen Geschlechts. Das mittlere Alter der Patienten betrug 65 Jahre (Spannweite 27 – 85 Jahre) (siehe Tab. 3).

5.1.2 Chirurgische Vorgeschichte

52 von 55 Untersuchungen (94.5 %) wurden an Patienten durchgeführt, die im Laufe ihrer aktuellen Hospitalisierung am Universitätsklinikum des Saarlandes einem oder mehreren chirurgischen Eingriffen unterzogen worden waren. Lediglich 3 Messungen (5.5 %) wurden an Patienten unternommen die zuvor nicht operiert worden waren. 16 Messungen (29.1 %) wurden an Patienten aus der Unfallchirurgie bzw. Orthopädie durchgeführt. 6 weitere (10.9 %) an Patienten aus der Allgemeinchirurgie, 7 (12.7 %) aus der Neurochirurgie, 5 (9.1 %) aus der Gefäßchirurgie, 8 (14.5 %) aus der Mund-

Kiefer-Gesichtschirurgie (MKG) und Hals-Nasen-Ohrenheilkunde (HNO) sowie 2 (3.6 %) aus der Urologie. 11 Patienten (20 %) hatten nach einer zurückliegenden Intervention oder Operation Komplikationen erlitten, die auf der IOI behandelt wurden. Dazu gehörten beispielsweise Blutungen, Pneumonie oder das Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS). Zum Zeitpunkt der Untersuchung im Rahmen der Studie befanden sich die Patienten im Mittel am 11. postoperativen Tag des initialen chirurgischen Eingriffs.

5.1.3 Klinische Angaben zur Schwere der Erkrankung

Der mittlere SAPS II lag bei 29.0 (Spannweite 12 – 59), der mittlere APACHE II-Score bei 10.3 (Spannweite 2 – 24). In 46 Fällen (83.6 %) waren sie beatmungsabhängig mit den Beatmungsformen „continuous positive airway pressure“ (CPAP) oder „biphasic positive airway pressure“ (BiPAP). In 20 Fällen (36.4 %) wurden die Patienten mit Katecholaminen behandelt.

5.1.4 Hospitalisierung und Ernährung

Alter, Jahre. Mittelwert (Spannweite)	65 (27 – 85)
Männliches Geschlecht, n (%)	20 (66.6)
BMI, kg/m ² . Median (Spannweite)	31.2 (18.5 – 51.9)
Laufzeit der Ernährung, Tage. Mittelwert (Standardabweichung)	12.5 (13.0)
Laufrate der Ernährung, ml/h. Mittelwert (Standardabweichung)	42.7 (16.5)
Dauer der Hospitalisierung, Tage. Mittelwert (Spannweite)	15.9 (1 – 91)
SAPS II. Mittelwert (Spannweite)	29.0 (12 – 59)
APACHE II-Score. Mittelwert (Spannweite)	10.3 (2 – 24)
Beatmungsabhängigkeit, n (%)	46 (83.6)
Katecholamine, n (%)	20 (36.4)
Todesfälle, n (%)	3 (10)

Tab. 3 Demographische Daten des Patientenkollektivs

Der mittlere BMI der Patienten betrug 31.2 kg/m² (Spannweite 18.5 – 51.9 kg/m²), dabei wiesen 3 Patienten (5.5 %) einen BMI von mehr als 40 kg/m² auf. 4 Messungen (7.3 %) wurden an Patienten mit einem BMI über 50 kg/m² durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Untersuchung waren die Patienten im Mittel seit 12.5 Tagen

(Standardabweichung 13.0) enteral via nasogastraler Sonde ernährt worden. Die mittlere Laufrate der Ernährungslösung betrug hierbei 42.7 ml/h (Standardabweichung 16.5). Vor der Untersuchung war seit Durchführung des letzten routinemäßigen passiven Refluxtests bei keinem Patienten ein Fall von Erbrechen registriert worden. Zum Zeitpunkt der Untersuchung waren die Patienten im Mittel seit 15.9 Tagen auf der IOI hospitalisiert (Spannweite 1 – 91 Tage). Drei Patienten (10 %) sind im Laufe ihrer Hospitalisierung verstorben.

5.2 Sonographische Untersuchungen

Wie bereits im Vorfeld beschrieben, wurde im Rahmen der Studie sonographisch das gastrale Residualvolumen vor und nach Durchführung eines passiven Refluxtests gemessen. In 49 Untersuchungen (89.1 %) war der Auskultationsbefund von Darmgeräuschen positiv. Daraufhin konnte in 42 Fällen (76.4 %) die Peristaltik des Gastrointestinaltraktes via Sonographie visualisiert werden.

5.2.1 Durchführbarkeit der Messungen

Grundsätzlich war die ultraschallgestützte Bestimmung des gastralen Residualvolumens im Laufe der Studie bei allen rekrutierten Patienten durchführbar, unabhängig von demographischen Charakteristika, ernährungsbezogenen Daten oder der Art des vorausgegangenen chirurgischen Eingriffs. Das Pocket device ist intuitiv zu bedienen und liefert bei der abdominalen Sonographie mit Sektor-, anstatt des üblicherweise gebräuchlichen, aber herstellerbedingt nicht vorhandenen, Konvexschallkopfes ein subjektiv gleiches bzw. ähnliches Bild wie das Referenzgerät.

48 von 55 Messungen (87.3 %) wurden nach klinischem Standard in Rechtsseitenlage (49) durchgeführt. 7 Untersuchungen (12.7 %) konnten lediglich in Rückenlage durchgeführt werden, da die Lagerung des Patienten aufgrund verschiedener Ursachen nicht möglich war. Dazu gehörten vorausgegangene Traumata, ein Mund-Kiefer-Gesichtschirurgischer Eingriff und im Fall eines tetraplegischen Patienten das wiederholte Auftreten einer plötzlichen Asystolie bei Lagerung. Da die Messungen in Rückenlage zu einer quantitativen Unterschätzung des gastralen Residualvolumens führen können (49), müssen diese Ergebnisse kritisch bewertet werden.

Unter bestimmten Bedingungen war die Sonographie erschwert durchzuführen, so beispielsweise bei Patienten in Rückenlage. Hierbei kommt das Antrum durch den fehlenden Effekt der Schwerkraft – im Vergleich zur Untersuchung in Rechtsseitenlage – verkleinert zur Darstellung (49). Dadurch wird die Visualisierung erschwert. In der Testphase der Studie wurde festgestellt, dass die gastrale Sonographie nicht durchführbar war bei Patienten mit abdomineller Wundbehandlung mittels Vakuum-Therapie, wenn hiervon auch das Epigastrium eingeschlossen war. Ursache hierfür ist die Schalldichtigkeit des eingesetzten Vacuseal®-Schwammes.

5.2.2 Vergleich der Messergebnisse der beiden Ultraschallgeräte Standardgerät und Pocket device

Das im Mittel bestimmte gastrale Residualvolumen vor dem Refluxetest betrug 24.08 ml (Spannweite 0 – 90.43 ml) für das Standardgerät und 24.90 ml (Spannweite 0 – 118.01 ml) für das Pocket device. Der Pearson Korrelationskoeffizient für beide Untersuchungen beträgt hierbei $R = 0.88$. Nach durchgeführtem Refluxetest betragen die mittleren Residualvolumina 19.86 ml (Spannweite 0 – 117.48 ml) für das Standardgerät und 18.04 ml (Spannweite 0 – 79.5 ml) für das Pocket device. Der Pearson Korrelationskoeffizient für beide Untersuchungen beträgt hierbei $R = 0.94$. Der Pearson Korrelationskoeffizient liegt vor und nach dem Refluxetest nahe am Wert + 1; somit zeigten die Ergebnisse der beiden verwendeten Geräte eine sehr gute positive Korrelation.

Die Bland-Altman-Analyse (Abb. 6) wurde zum Vergleich der Übereinstimmung der gemessenen gastralen Residualvolumina mit Standardgerät und Pocket device angewandt.

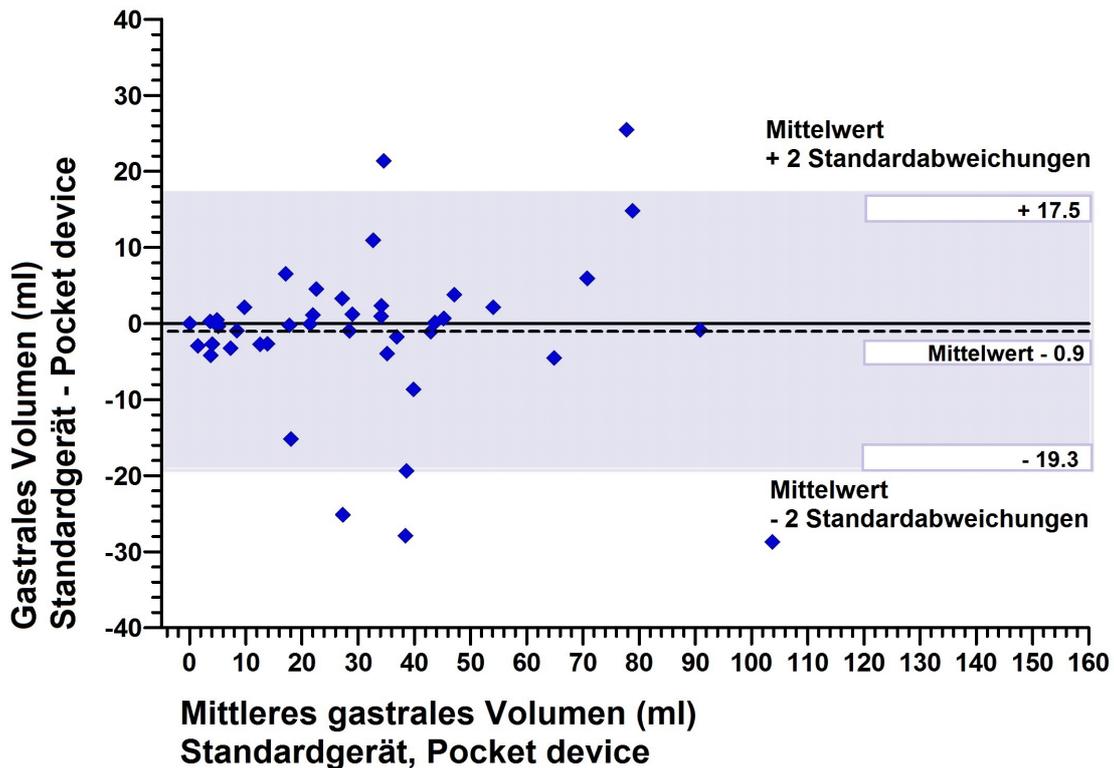


Abb. 6 Bland-Altman-Analyse zur Genauigkeit und Präzision der ultraschallgestützten Messungen

Die Differenz der Messwerte beider Geräte ($x - y$) wurde auf der y-Achse gegen den Mittelwert der Ergebnisse beider Geräte ($(x + y) / 2$) auf der x-Achse aufgetragen. Die Wertepaare werden im Diagramm als Punkt dargestellt. Der Mittelwert der Differenz wurde als horizontale gestrichelte Linie markiert, diese liegt bei 0.9 ml. Dieser Wert wird auch als „bias“ oder systematischer Fehler bezeichnet und ist mit nahezu 0 vergleichsweise klein. Die Mittelwertlinie wurde $\pm 2 \cdot$ Standardabweichung (SD) der Differenzen eingezeichnet. Der mittlere Fehler mit 2 Standardabweichungen liegt bei ± 18.4 ml. Der dazwischen befindliche Bereich, in der Grafik blau schattiert, wird definiert als Bereich der Übereinstimmung bzw. „limit of agreement“. Sei eine Normalverteilung angenommen, so liegen 95 % der Differenzen der Gesamtpopulation in diesem Bereich, dementsprechend 5 % außerhalb. Die Punktwolke rangiert vornehmlich gleichmäßig um den Mittelwert der Differenz, es fallen nur wenige Messwerte außerhalb des Übereinstimmungsbereiches. Folglich korrelieren die Ergebnisse der Messungen beider Geräte mit hoher Genauigkeit und Präzision miteinander.

Werden die sonographisch ermittelten Werte beider Ultraschallgeräte auf das

Körpergewicht der Patienten heruntergerechnet, so wiesen diese im Mittel ein gastrales Residualvolumen von 0.27 ml/kgKG auf. Dieses betrug nach Durchführung des Refluxtests im Mittel 0.20 ml/kgKG. Lediglich ein Patient wies vor sowie nach Ausführung des passiven Refluxtests ein sonographisches Residualvolumen von > 0.8 ml/kgKG auf.

5.2.3 Messzeiten

Die im Mittel benötigte Zeit für die Messungen vor der Refluxkontrolle betrug 203 ± 62 Sekunden für das Standardgerät sowie 194 ± 59 Sekunden für das Pocket device ($p = 0.23$). Nach dem Refluxtest betrug die im Mittel benötigte Zeit 191 ± 50 Sekunden für das Standardgerät und 190 ± 53 Sekunden für das Pocket Device ($p = 0.86$). Demzufolge besteht kein signifikanter Unterschied in der reinen Messzeit beider Ultraschallgeräte.

5.3 Passive Refluxtests

Der Refluxtest wird als positiv gewertet, sobald im Schlauch bzw. Sekretbeutel welcher an die nasogastrale Sonde des Patienten konnektiert ist, Rückfluss von Mageninhalt zu quantifizieren ist. Dies war in 12 von 55 Untersuchungen (21.8 %) der Fall, wobei der Mittelwert des Rückstauvolumens 52.5 ml (Spannweite 20 – 100 ml) betrug. Auf das gesamte Patientenkollektiv bezogen wiesen 30 % aller weiblichen und 35 % aller männlichen Patienten Reflux auf; ihr mittleres Alter lag bei 65.2 Jahren, der BMI bei 28.8 kg/m². Bezüglich der vorausgegangenen chirurgischen Eingriffe stellten den größten Anteil mit 42 % Patienten aus der Unfallchirurgie/Orthopädie, mit 25 % aus der MKG und HNO sowie mit 17 % aus der Neurochirurgie dar. Der mittlere SAPS II betrug bei Patienten mit Reflux 30.8, der mittlere APACHE II-Score 11.6, sie waren somit im Vergleich zum Gesamtkollektiv etwas höher (29.0 bzw. 10.3). Patienten mit positivem Rückstautest waren zum Zeitpunkt der Untersuchung im Mittel seit 8.8 Tagen enteral ernährt worden mit einer mittleren Laufrate von 43.2 ml/h. Bei 11 der 12 Patienten (91.67 %) mit positivem Refluxtest konnte die Peristaltik sonographisch visualisiert werden, nachdem bei allen Patienten Darmgeräusche auskultiert worden waren.

5.4 Korrelation der sonographisch bestimmten gastralen Residualvolumina mit den Ergebnissen der passiven Refluxtests

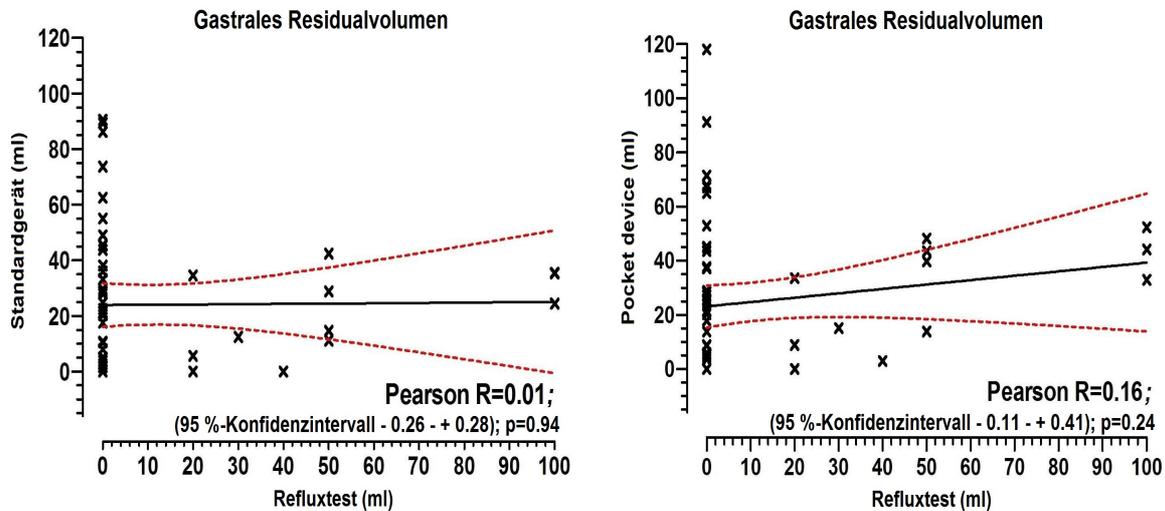


Abb. 7 Pearson Korrelationskoeffizient zur Korrelation der sonographisch bestimmten Residualvolumina mit den Ergebnissen der passiven Refluxtests

In Abb. 7 wird anhand vom Korrelationsdiagramm und der Berechnung des Pearson Korrelationskoeffizienten graphisch die Beziehung zwischen dem sonographisch bestimmten gastralen Residualvolumen und dem Rückstauvolumen aus dem passiven Refluxtest dargestellt. Hierzu wird in der x-Achse das Rückstauvolumen in ml aus dem passiven Refluxtest gegen das sonographisch bestimmte gastrale Residualvolumen in ml in der y-Achse aufgetragen. Somit entstehen zwei Grafiken; eine für das Standardgerät und eine weitere für das Pocket device. Anhand der Gruppierung der Messpunkte wurde eine Ausgleichsgerade gezogen, hier schwarz dargestellt. Diese zeigt bei beiden vorliegenden Graphen einen annähernd horizontalen Verlauf ohne bzw. mit nur geringer Steigung. Weiterhin befinden sich die Messwerte nicht nahe an der Ausgleichsgeraden, sondern entfernt von dieser. Das 95 %-Konfidenzintervall liegt für das Standardgerät bei - 0.26 – + 0.28; für das Pocket device bei - 0.11 – + 0.41. Für das Standardgerät beträgt der Pearson Korrelationskoeffizient $R = 0.01$ ($p = 0.94$), für das Pocket device $R = 0.16$ ($p = 0.24$). Nimmt der Pearson Korrelationskoeffizient – wie hier vorliegend – einen Wert um 0 an, so zeigen die betrachteten Merkmale keinen linearen Zusammenhang. Werden also alle 55 Messungen in Zusammenschau mit den erwähnten Argumenten betrachtet, so besteht keine Korrelation zwischen den Variablen. Diese Aussage trifft

für beide eingesetzten Ultraschallgeräte zu. Beispielweise wurde in einem Fall ein sonographisches Residualvolumen von 118.01 ml gemessen, trotzdem fiel die Rückstaukontrolle negativ aus.

5.5 Korrelation der sonographisch bestimmten gastraln Residualvolumina mit den Ergebnissen der positiven passiven Refluxtests

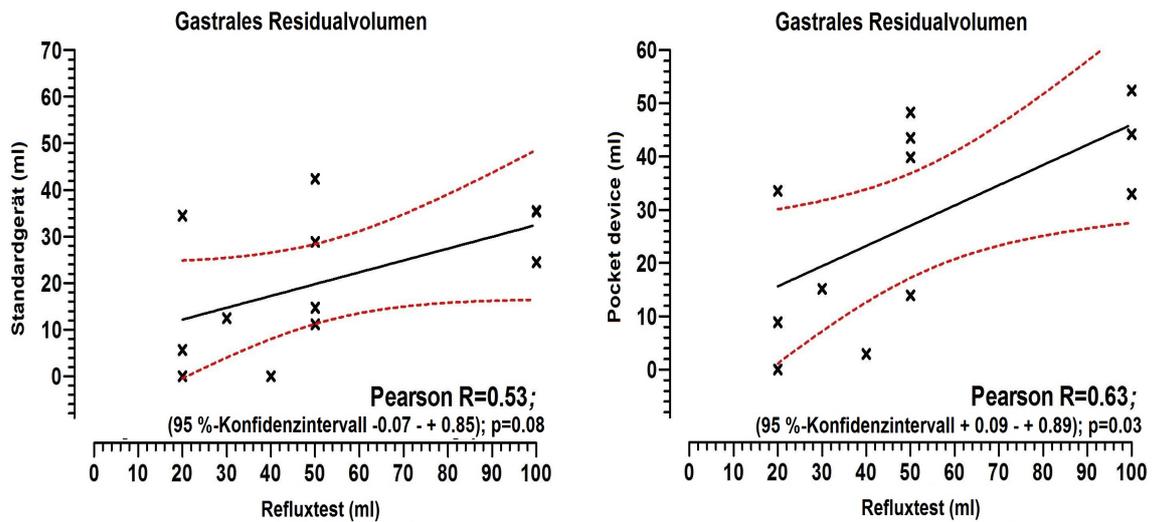


Abb. 8 Pearson Korrelationskoeffizient zur Korrelation der sonographisch bestimmten Residualvolumina mit den Ergebnissen der positiven passiven Refluxtests

In Abb. 8 werden die sonographischen Messungen betrachtet, bei denen ein positiver Refluxtests vorlag. Zum Vergleich der Korrelation der Variablen „ultraschallgestützt bestimmtes gastrales Residualvolumen in ml“ (y-Achse) und „Rückstauvolumen aus dem positiven passiven Rückstautest in ml“ (x-Achse) wurde der Pearson Korrelationskoeffizient herangezogen. Dieser wurde für beide verwendeten Ultraschallgeräte berechnet. Der Pearson Korrelationskoeffizient beträgt $R = 0.53$ ($p = 0.08$) für das Standardgerät sowie $R = 0.63$ ($p = 0.03$) für das Pocket device. Das 95 %-Konfidenzintervall liegt für das Standardgerät bei $- 0.07 - + 0.85$, für das Pocket device bei $- 0.09 - + 0.89$. Die Ausgleichsgerade zeigt bei beiden Graphen eine positive Steigung und eine Gruppierung der Messwerte um diese herum. In Anbetracht dieser Angaben kann eine positive Korrelation der Ergebnisse des passiven Rückstautests zu denen der sonographisch ermittelten Volumina gefunden werden. Die ultraschallgestützten Bestimmungen der Residualvolumina vor positivem Refluxtest rangierten von $0 - 42.41$ ml mit dem Standardgerät und von $0 - 52.37$ ml

mit dem Pocket device. Hieraus resultierten passiv drainierte Volumina von 20 – 100 ml.

5.6 Inzidenz von Pneumonien

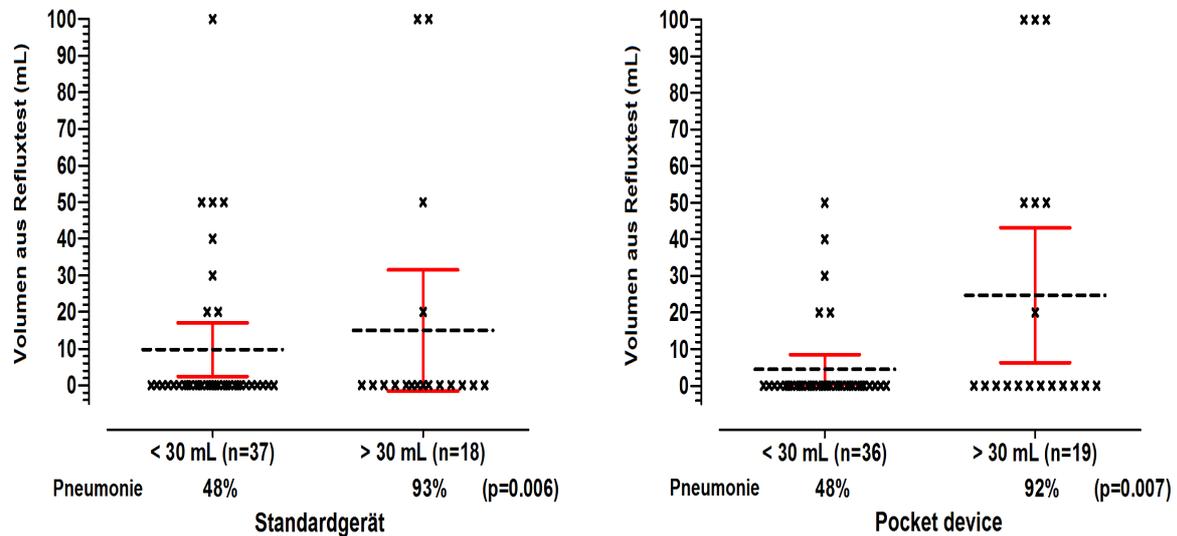


Abb. 9 Boxplot zur Inzidenz von Pneumonien

Mithilfe des Boxplots (Abb. 9) wird die Inzidenz für Pneumonien bei Patienten mit unterschiedlichen Ergebnissen in der sonographischen Messung des gastralen Residualvolumens visualisiert. Auf dem vertikalen Zahlenstrahl ist das Rückstauvolumen des passiven Reflux tests in ml aufgetragen. Für jedes der Ultraschallgeräte wurden pro Grafik jeweils zwei Boxplots erstellt, jeweils für ein sonographisch bestimmtes Residualvolumen von unter 30 ml sowie von über 30 ml. In den Boxplot wurde das jeweils korrespondierende passive Rückstauvolumen als „x“ eingetragen. Die gestrichelte Linie gibt den Median an; die rote Box entspricht dem Bereich, in dem die mittleren 50 % der Daten liegen. Diese liegen beim Standardgerät im Bereich von 3 – 18 ml (Median 10 ml), wenn im passiven Reflux test weniger als 30 ml gefördert wurden; sowie 0 – 31 ml (Median 15 ml), wenn mehr als 30 ml gefördert wurden. Für das Pocket device liegen die Werte bei 0 – 8 ml (Median 5 ml) bzw. 6 – 43 ml (Median 25 ml).

Bei der Sonographie mit dem Standardgerät wurden in 37 Fällen gastrale Residualvolumina von weniger als 30 ml gemessen. 48 % dieser Patienten erlitten klinisch eine Pneumonie. Von 18 Patienten mit einem Residualvolumen von mehr als 30 ml hatten 93 % eine Pneumonie ($p = 0.006$). In 4 Fällen (77.8 %) war dabei der

passive Reflux test negativ ausgefallen. Das Pocket device zeigte annähernd gleiche Ergebnisse mit $p = 0.007$.

6. Diskussion

Dies ist die erste Untersuchung in der gezeigt werden konnte, dass die gastrale Residualvolumenbestimmung bei enteral ernährten, chirurgischen Intensivpatienten mit einem miniaturisierten Ultraschallgerät durchführbar ist. Dessen Ergebnisse korrelierten mit hoher Genauigkeit mit denen des Standardgerätes sowohl bzgl. der Qualität als auch der benötigten Zeit. Die sonographisch errechneten Volumina beider Geräte zeigten keine Korrelation zu den Resultaten des passiven Reflux tests.

6.1 Studienaufbau

6.1.1 Bewertung der Bestimmung gastraler Residualvolumina

Nach der aktuellen, in 2016 veröffentlichten Leitlinie der A.S.P.E.N., wird die Bestimmung des gastralen Residualvolumens im Rahmen der Routineversorgung enteral ernährter Intensivpatienten mit niedrigem Evidenzgrad nicht mehr grundsätzlich empfohlen. Ursache hierfür ist unter anderem der erforderliche Zeitaufwand. Weiterhin trägt ein mögliches temporäres Pausieren der enteralen Ernährung dazu bei, dass das Ernährungsziel des Patienten erst später als möglich erreicht wird. Dies kann sich nachteilig auf das Outcome der Patienten auswirken (40). Außerdem ist die am häufigsten angewandte Methode, das aktive Aspirieren des Mageninhaltes über die inserierte Magensonde mittels Spritze (4), nicht standardisiert (45). Deren Durchführung ist selbst unter Idealbedingungen nicht fehlerfrei möglich: In einer Arbeit von Bartlett et al. konnten mit Sonden verschiedener Durchmesser und Sogstärken definierte Flüssigkeitsmengen aus Behältern nicht vollständig blind aspiriert werden (4). Das Ergebnis dieser Methode ist somit abhängig von verschiedenen Faktoren, insbesondere der individuellen Durchführung und dem verwendeten Material. Weiterhin besteht kein Konsens über die Häufigkeit der Durchführung und die Interpretation der Ergebnisse. Aus Gründen des geringeren Zeitaufwandes und der einfacheren Einbindung in den klinischen Alltag wird deshalb in vielen Kliniken – sowie auf der IOI – der passive Reflux test angewandt. Generell sollten die resultierenden Ergebnisse der Residualvolumenbestimmung kritisch betrachtet und individuell über deren klinische

Konsequenz entschieden werden (40). Aufgrund der bereits in 2.4.2.5 beschriebenen Komplikationen, die von einer verzögerten Magenentleerung und folglich erhöhtem gastralen Residualvolumen ausgehen, ist dessen Bestimmung generell von großem Interesse. Zur Beurteilung der Toleranz der Ernährungslösung bzw. der Magenentleerung allgemein wäre ein einfaches, leicht zu erlernendes, nicht invasives, standardisiertes und zuverlässiges Verfahren von großem Nutzen. Könnte eine Bestimmung des Residualvolumens bettseitig erfolgen und zu minimalen untersuchungsbedingten Ernährungspausen führen, so wäre eine solche Methode aufgrund der Nichtinvasivität und der Minimierung des Aspirationsrisikos gut in den klinischen Alltag zu integrieren.

6.1.2 Einsatz miniaturisierter Ultraschallgeräte

In dieser Studie wurde, neben einem herkömmlichen Standard Ultraschallgerät, auch ein sogenanntes Pocket device etabliert. Prototypen solcher miniaturisierter Ultraschallgeräte wurden bereits vor mehr als 35 Jahren hergestellt, geprüft (38) und seither kontinuierlich weiterentwickelt. Mittlerweile werden sie auf dem Markt von verschiedenen Herstellern vertrieben. Ihre Vorteile liegen in der Handlichkeit, der langen Laufzeit durch Batterie- bzw. Akkubetrieb und der vereinfachten Bedienung. Die Schalteinheiten sind dabei auf kleine Tastaturen bzw. wenige Knöpfe reduziert (33). Der Nutzen miniaturisierter Geräte für den klinischen Alltag ist Gegenstand zahlreicher Studien, wobei die meisten Daten bislang zum Einsatz in der Echokardiographie (34) (54) sowie in der Notfallsonographie (39) existieren. Dabei werden sehr gute Ergebnisse hinsichtlich Sensitivität und Spezifität in der Erkennung von Pathologien beschrieben (54), wobei im Rahmen der ausführlichen Echokardiographie die Leistung von Pocket devices bisher noch nicht derjenigen von Standardgeräten entspricht (34). Im Bereich der Abdominalsonographie hingegen ist die Anwendbarkeit miniaturisierter Geräte bis auf wenige Publikationen nicht untersucht. Colli et al. veröffentlichten in einer Studie die Untersuchungsergebnisse von Ärzten, die in der abdominalen Ultraschalluntersuchung verschiedene Fragestellungen an 1962 Versuchspersonen bearbeiteten. Hierbei zeigte das Pocket device („VScan“, GE Healthcare) eine hohe Genauigkeit der Messungen sowie eine hohe Sensitivität und Spezifität in der Erkennung von Pathologien wie beispielsweise Aszites, Splenomegalie oder einem Aortenaneurysma (14). Stock et al. publizierten

ebenfalls eine Vergleichsstudie zu unterschiedlichen Ultraschallgeräten. Hierbei wurde das Pocket device („Acuson P10“) in der Abdominalsonographie qualitativ als signifikant schlechter als das herstellergleiche Standardgerät („Sonoline Antares“) eingestuft. Die besseren Ergebnisse erzielte das Pocket device lediglich hinsichtlich der insgesamt benötigten Untersuchungszeit. Diese beinhaltete das Bereitstellen und Starten des Gerätes sowie die eigentliche Untersuchung. Interessanterweise waren die alleinigen Untersuchungen jedoch zeitintensiver als mit dem Standardgerät (57). Insgesamt bleibt festzuhalten, dass nur wenige Studien zu diesem Thema existieren, sich diese inhaltlich deutlich unterscheiden und somit zum jetzigen Zeitpunkt der Einsatz von Pocket devices in weiten klinischen Bereichen nicht ausreichend validiert ist. Bislang wurde erst eine Studie zur gastralen Sonographie mit einem Pocket device veröffentlicht, untersucht wurden hierbei schwangere Patientinnen unter Geburt vor und nach Anlage eines Periduralkatheters (6). Ergebnis war eine sehr gute Durchführbarkeit.

Die vorliegende Studie ist die erste klinische Untersuchung, die im Themengebiet der gastralen Sonographie bei kritisch kranken Patienten ein Pocket device mit einem Standardgerät hinsichtlich Gebrauch, Genauigkeit und Zeitaufwand verglichen hat. Ziel war es, die Durchführbarkeit der gastralen Sonographie zur Residualvolumenbestimmung bei enteral ernährten, kritisch kranken Patienten mit einem miniaturisierten Ultraschallgerät zu evaluieren.

6.1.3 Methodik

In den vergangenen Jahren wurden einige wenige Arbeiten zum Thema der sonographischen Bestimmung des gastralen Residualvolumens veröffentlicht. Die klinische Durchführbarkeit wurde dabei in verschiedenen Patientengruppen bestätigt; bei adipösen nicht-chirurgischen (49), adipösen chirurgischen (58) und kritisch kranken Patienten (21) sowie bei Schwangeren (3) (6). Wie bereits ausgeführt, handelt es sich bei der hier durchgeführten Untersuchung um ein bisher einzigartiges Patientenkollektiv; namentlich „enteral via Magen- oder Ernährungssonde ernährte chirurgische Intensivpatienten“. Neben der Verwendung zweier unterschiedlicher Ultraschallgeräte erfolgte im Rahmen der Studie zusätzlich der Vergleich unterschiedlicher klinischer Untersuchungsmethoden zur gastralen Residualvolumenbestimmung. Hierfür wurde zunächst der passive Reflux test

ausgewählt, da dieser auf der IOI das Routineverfahren darstellt, sowie die Sonographie als bildgebendes Verfahren. In einer Untersuchung von Bouvet et al. wurden ebenfalls zwei Methoden miteinander verglichen. Präoperativ wurde bei nüchternen Patienten nach Einleitung ein aktiver Refluxtest durchgeführt sowie vorher und nachher sonographisch das gastrale Residualvolumen verifiziert. Es konnte eine positive Korrelation zwischen abgesaugter Menge und sonographisch bestimmtem Residualvolumen gefunden werden. Limitierend ist zu bemerken, dass die Patienten in Rückenlage mit 45-Grad-Oberkörperhochlagerung untersucht wurden (10), was der aktuellen Empfehlung widerspricht (49).

Die Methodik der vorliegenden Arbeit wurde bewusst einfach gestaltet, um die Untersuchungen in die klinische Routine der Patientenversorgung integrieren zu können. Sollte ohnehin ein passiver Refluxtest durchgeführt werden, so wurden zusätzlich sonographische Messungen im Rahmen der Studie integriert. Alle Parameter bzgl. enteraler Ernährung, sowie Medikation und Beatmung blieben unverändert. Aus diesem Grund erfolgte keine ausgedehnte Vorbereitung des Patienten oder Schaffung idealer Bedingungen, sodass von Untersuchungen mit hoher klinischer Reproduzierbarkeit ausgegangen werden kann.

6.2 Durchführbarkeit der Messungen

Die vorliegende Studie wurde nicht randomisiert und nicht verblindet. Alle Untersuchungen sowie die Datenkollektion erfolgten durch die Autorin, somit wurden untersucherbedingte Schwankungen ausgeschlossen. Die statistischen Berechnungen wurden von einer zweiten Person durchgeführt und von der Autorin ausgewertet.

Bei vorliegender Methodik, die jeweils drei Messungen pro Gerät vor und nach Refluxtest vorsah, waren in der Summe 660 ultraschallgestützte Einzelmessungen durchführbar. Somit war bei allen 55 Durchgängen (100 %) aus dem gewählten Kollektiv die Durchführung der gastralen Sonographie prinzipiell möglich. An dieser Stelle sei nochmals erwähnt, dass die Untersuchung bei 7 von 55 Durchgängen (12.7 %) nur in Behelfstechnik in Rückenlage erfolgen konnte. Die Gründe für diesen Umstand wurden bereits in den Ergebnissen (5.2.1) dargelegt. Demzufolge könnte das ultraschallgestützt bestimmte gastrale Volumen bei diesen Patienten unterschätzt worden sein (49). Es wäre von Interesse einen Korrekturwert zu

berechnen der es erlauben würde, die gastrale Sonographie – wenn nicht anders möglich – in Rückenlage durchzuführen, aber trotzdem einen Näherungswert zum tatsächlichen gastralen Volumen zu erhalten. Für die Berechnung eines solchen Korrekturwertes müsste bei einem großen Kollektiv das Magenantrum jedes Patienten in Rücken-, sowie in Rechtsseitenlage vermessen und die Differenz des Volumens berechnet werden. Auf das gesamte Kollektiv übertragen ließe sich so eine prozentuale Abweichung bestimmen. Bei herkömmlicher Berechnung betragen die gastralen Residualvolumina bei Patienten in Rückenlage im Mittel 16.6 ml (Spannweite 0 – 35.51 ml) bei Messung mit Standardgerät und 23.0 ml (Spannweite 0 – 52.37 ml) mit Pocket device. In 5 dieser Untersuchungen wiesen die Patienten Rückstauvolumina von bis zu 100 ml auf, es resultierten mittlere gastrale Residualvolumina von 9.6 ml (Spannweite 0 – 36.53 ml) bzw. 6.9 ml (Spannweite 0 – 30.27 ml).

6.3 Beurteilung der Messergebnisse

6.3.1 Auskultationsbefund vs. sonographische Visualisierung von Peristaltik

In 42 Fällen (76.4 %) konnte die Peristaltik des Gastrointestinaltraktes via Sonographie visualisiert werden, nachdem in 49 Untersuchungen (89.1 %) der Auskultationsbefund von Darmgeräuschen positiv gewesen war. Wir werten diese Diskrepanz insofern, dass es sich um falsch positive Auskultationsbefunde gehandelt haben muss. In einer Studie von Breum et al. bewerteten Ärzte unterschiedlicher Berufserfahrung verschiedene elektronisch aufgezeichnete Auskultationsergebnisse. Vorhandene Passagestörungen konnten nur mit niedriger Sensitivität (0.42) bei etwas höherer Spezifität (0.78) erkannt werden. Demzufolge sollten klinische Entscheidungen nicht auf alleiniger Grundlage der Auskultation erfolgen (12). Auch vonseiten der Autorin wird die Sonographie als spezifischer eingestuft, da sie im Gegensatz zur Auskultation eine bildgebende Methode darstellt, deren Ergebnisse somit objektivierbarer sind.

6.3.2 Standardgerät und Pocket device im Vergleich

Die Ergebnisse der beiden verwendeten Geräte korrelierten mit hoher Genauigkeit und Präzision zueinander bzgl. der Messung gastraler Residualvolumina. Somit ist die Qualität der Ultraschallgeräte hinsichtlich der Magenantrumvermessung

miteinander vergleichbar. In vorliegender Studie wurde am Standardgerät ein konvexer Schallkopf verwendet. Das verwendete Pocket device weist herstellerbedingt nur einen Sektorschallkopf auf, der laut Herstellerangaben auch auf die Abdominalsonographie angewandt werden kann (30). Es lässt sich somit festhalten, dass die Vermessung des Magenantrums mit beiden Geräten durchführbar ist.

6.3.3 Benötigte Zeit für die sonographischen Messungen

Die gemessenen Zeiten für die Ultraschalluntersuchungen stellen die reinen Untersuchungszeiten ab Aufsetzen des Schallkopfes auf das Abdomen des Patienten bis zur Beendigung der Vermessung des Magenantrums dar. Vor jeder der drei konsekutiven Messungen pro Gerät wurde der Schallkopf vom Abdomen abgehoben und anschließend erneut aufgesetzt. Die Bereitstellung, sowie das Anschalten und Herunterfahren der Geräte wurde nicht erfasst. Um einen Vorteil für eines der beiden Geräte auszuschließen, wurde jede neue Untersuchung im Wechsel entweder mit dem Standardgerät oder mit dem Pocket device begonnen. Bei der Organausmessung fiel auf, dass diese mit dem Standardgerät einfacher zu handhaben war aufgrund des einfach und rasch zu bedienenden Cursors, während dies am Pocket device per Knopfdruck getätigt wurde. Weiterhin besitzt das Pocket device zwar eine gute Auflösung, jedoch ist aufgrund des kleineren Bildschirms eine höhere Genauigkeit und Konzentration des Untersuchers vonnöten. Ebenfalls ist anzumerken, dass Kliniker im Normalfall mehr praktische Erfahrung in der Handhabung von Standardgeräten vorweisen können und dass die Nutzung von Pocket devices, gemessen an der absoluten Anzahl der Untersuchungen, noch weniger routiniert ist. Eventuell ließe sich bei Nutzung über einen längeren Zeitraum durch die somit geschulte Tätigkeit eine Zeitersparnis erarbeiten. Bezüglich der nicht in die Zeitmessung eingehenden Faktoren hat dem subjektiven Eindruck der Autorin zufolge das Pocket device in der Bereitstellung zum Patienten einen Zeitvorteil, da der Transport in der Hand erfolgt und bei Benutzung keine externe Stromversorgung benötigt wird. Weiterhin ist die Eingabe der personenbezogenen Daten als Sprachnotiz möglich, während am Standardgerät die manuelle Dateneingabe und Synchronisierung mit dem Server notwendig ist. Diese ist ebenso erforderlich zur Datenübertragung. Dies gestaltet sich beim Pocket device ebenfalls einfacher; die

Übertragung kann direkt auf ein Endgerät erfolgen. Schlussfolgernd war die Messzeit bei beiden Ultraschallgeräten gleich, in der Handhabung weisen beide Geräte jeweils Vor- und Nachteile auf.

6.3.4 Korrelation der sonographisch bestimmten gastral Residualvolumina mit den Rückstauvolumina der passiven Refluxtests

Werden die sonographisch gemessenen gastral Residualvolumina den Rückflussmengen der positiven Refluxtests gegenübergestellt, so findet sich eine hohe Korrelation der Ergebnisse. Werden allerdings die Resultate aller 55 Untersuchungen betrachtet, so findet sich keine Korrelation zwischen den Variablen. Daraus lässt sich folgern, dass die passive Refluxkontrolle nicht optimal dazu geeignet ist, das tatsächliche gastrale Residualvolumen adäquat widerzuspiegeln. Es lässt sich kein Grenzwert festlegen, ab welchem die Refluxkontrolle positiv ausfällt. Ebenso ist das Ergebnis unabhängig von Geschlecht, Alter, BMI sowie Dauer und Laufrate der enteralen Ernährung. Vor positivem Refluxtest betrug das im Mittel sonographisch gemessene gastrale Residualvolumen mit Standardgerät 20.42 ml (Spannweite 0 – 42.41 ml) und mit Pocket device 27.96 ml (Spannweite 0 – 52.37 ml) Die Werte sind also sehr nah am Mittelwert der Gesamtpopulation und erscheinen gering. Somit sprechen sie für sich gesehen für eine gute Verträglichkeit der enteralen Ernährungslösung, hätten also klinisch keinen positiven Rückstau vermuten lassen. Andererseits kann selbst bei höheren Residualvolumina der passive Refluxtest negativ ausfallen. Zu diesem Umstand wird im Folgenden ein Patientenbeispiel erläutert.

6.4 Patientenbeispiel

Es würde den Rahmen der Arbeit sprengen, die Verläufe aller longitudinal untersuchten Patienten darzustellen. An dieser Stelle erfolgt beispielhaft die Erläuterung eines Falls zur Stützung der Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie.

Eine orthopädische Patientin mit periprothetischem Infekt wurde im Rahmen der Studie an zwei aufeinanderfolgenden Tagen untersucht. Es handelte sich hierbei um ihren 8. und 9. Hospitalisierungstag bzw. den 6. und 7. postoperativen Tag. Die Patientin erhielt seit 4 bzw. 5 Tagen enterale Ernährung über eine nasogastrale

Sonde. Am ersten Untersuchungstag zeigte sich sonographisch ein gastrales Residualvolumen vor und nach – negativem – Refluxtest gegen 0 ml. Am darauffolgenden Tag ließen sich 89.29 ml mit dem Standardgerät und 118.01 ml mit dem Pocket device messen; nach abermals negativem Refluxtest ergaben sich 117.48 ml bzw. 110.27 ml. Umgerechnet auf das Körpergewicht betrug das Residualvolumen in diesem Fall bei ihr als einziger Patientin der gesamten Studie über 0.8 ml/kgKG, nämlich 1.38 ml/kgKG bzw. 1.30 ml/kgKG.

Dieses Fallbeispiel verdeutlicht den Leitlinienbeschluss der A.S.P.E.N. 2016, nach der die Bestimmung des gastralen Residualvolumens enteral ernährter Intensivpatienten u.a. aufgrund der unterschiedlichen Aussagekraft der verfügbaren Methoden nicht mehr grundsätzlich empfohlen wird (40). Die Tatsache dass der passive Refluxtest trotz positiver sonographischer Befunde kein Rückstauvolumen zu fördern vermochte, stützt die Befürwortung der Autorin, dass die nichtinvasive Messung des gastralen Residualvolumens mittels Sonographie sinnvoll und von Interesse sein kann. Diese stellte im Patientenfall als einziger Faktor einen Hinweis auf eingeschränkte Motilität des Gastrointestinaltraktes dar und könnte somit für die Beurteilung der Verträglichkeit der Ernährung herangezogen werden.

6.5 Bewertung der Inzidenz von Pneumonien

In der Studie zeigten 48 % der Patienten mit sonographisch gemessenen gastralen Residualvolumina von unter 30 ml klinische Zeichen einer Pneumonie. Dahingegen erlitten bei Residualvolumina von mehr als 30 ml 93 % der Patienten eine Pneumonie. Folglich hatten in dieser Studie, rein statistisch betrachtet, gastrale Residualvolumina von über 30 ml ein signifikant erhöhtes Risiko für das Auftreten einer Pneumonie zur Folge. Diese Ergebnisse müssen jedoch mit Vorsicht interpretiert werden, denn aus den vorliegenden Daten ist kein zeitlicher oder kausaler Zusammenhang zur enteralen Ernährung herzustellen. Die A.S.P.E.N. und somit auch aktuelle Studien stützen ebenfalls die Annahme, dass hohe gastrale Residualvolumina nicht mit einem gehäuften Auftreten von Pneumonien assoziiert sind (40). In der REGANE Studie wurden 329 Patienten von 28 Intensivstationen diesbezüglich untersucht, es konnten in zwei Vergleichsgruppen mit hohem (> 500 ml) und niedrigerem (bis 200 ml) gastralen Residualvolumen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Inzidenz von Pneumonien gefunden werden (44). Ihr

vermehrtes Auftreten in vorliegender Studie könnte auch mit den individuellen Krankengeschichten zusammenhängen. So könnte ein tetraplegischer Patient nicht in adäquatem Maße dazu imstande gewesen sein, bronchopulmonale Sekrete abzu husten. Weiterhin wies eine an Mukoviszidose erkrankte Patientin aufgrund ihrer Grunderkrankung ein erhöhtes Risiko für die Entwicklung (pulmonaler) Infekte auf. Zusammenfassend war es schließlich nicht Absicht dieser Studie, die Inzidenz von Pneumonien zu untersuchen. Die Ergebnisse stellen lediglich Zufallsbefunde dar, die jedoch vor dem thematisierten Hintergrund nicht undokumentiert bleiben sollten, da die Pneumonie eine häufige Komplikation bei Intensivpatienten darstellt.

6.6 Limitationen

Die Messungen der Studie wurden zu 60 % (n = 33) an männlichen und zu 40 % (n = 22) an weiblichen Patienten durchgeführt. Somit sind mehr Messungen an männlichen Patienten erfolgt. Insgesamt weist das Kollektiv in Hinblick auf weitere demographische Daten wie Alter und BMI eine inhomogene Struktur auf. Eine Variation besteht weiterhin in der Art und Schwere der Erkrankungen sowie der klinischen Abteilung und Voroperationen der Patienten. Ziel dieser Arbeit war es, die Durchführbarkeit der sonographischen Residualvolumenbestimmung in der klinischen Routine zu testen. Somit war es nicht die Intention, eine homogene, umfangreich vorselektierte Gruppe zu rekrutieren; es wurden bewusst – mit wenigen Ausnahmen die dem Methodenteil zu entnehmen sind – alle Intensivpatienten in die Studie eingeschlossen, die einem chirurgischen Eingriff unterzogen worden waren. Somit konnte ein realer Überblick über das tatsächliche Patientenkollektiv einer Intensivstation dargestellt werden.

6.7 Schlussfolgerung

Diese prospektive, observative, longitudinale Kohortenstudie stellt eine Durchführbarkeitsstudie dar. Die vorliegenden Ergebnisse erlauben die Aussage, dass die sonographische gastrale Residualvolumenbestimmung enteral ernährter, chirurgischer Intensivpatienten mit einem sogenannten Pocket device durchführbar ist. Dies gilt für Patienten mit einem BMI von 18.5 – 51.9 kg/m², ungeachtet ihrer chirurgischen Intervention. Das verwendete Pocket device wies bezüglich der Messergebnisse und der benötigten Zeit eine sehr gute Korrelation zum

Standardgerät auf. Da insbesondere kritisch kranke Patienten aufgrund eingeschränkter gastrointestinaler Funktion infolge ihrer Grundkrankheit, des veränderten Stoffwechsels (16) sowie iatrogenen Einflüsse (19) oftmals ein erhöhtes gastrales Residualvolumen aufweisen (27), gilt es ein Augenmerk auf klinische Anzeichen von Motilitätsstörungen des Magens zu legen. Dies gilt umso mehr, wenn zusätzlich eine enterale Ernährung erfolgt. Hierzu kann die Bestimmung des gastralen Residualvolumens mittels Sonographie und passivem Refluxtest dienen. Auf das Körpergewicht bezogen, betrug dieses vor Durchführung des Refluxtests im Mittel 0.27 ml/kgKG. Somit befanden sich die meisten Patienten unter der kritischen Grenze von 0.8 ml/kgKG, deren Überschreiten laut einer Studie von Raidoo et al. mit einer erhöhten Mortalität assoziiert ist (50). Trotzdem erfolgte auch bei diesen Patienten gelegentlich ein Reflux von Mageninhalt, was für eine Intoleranz der Ernährung oder eine erhöhte Neigung zu Regurgitation sprechen könnte. Andererseits fiel bei einer Patientin (s. 6.4) trotz sonographischen Residualvolumens von über 0.8 ml/kgKG der Refluxtest negativ aus. Aufgrund dieser – bei negativem Refluxtest – geringen Korrelation der beiden Verfahren ist aus Sicht der Autorin die gastrale Residualvolumenbestimmung weiterhin zu befürworten, obwohl die A.S.P.E.N. diese Empfehlung aktuell einschränkt (40). Diese könnte in alternativer Form erfolgen: Generell sollte laut Konsens mittels abdomineller Auskultation sowie Dokumentation von Emesis und Schmerzen auf klinische Anzeichen der Unverträglichkeit der enteralen Ernährung geachtet werden (40). Bei pathologischem Befund könnte anschließend bettseitig mit einem Pocket device bei geringem Zeitaufwand das gastrale Residualvolumen sonographisch bestimmt werden. Nur bei Überschreitung eines kritischen Schwellenwertes, z.B. 0.4 ml/kgKG, könnte im nächsten Schritt optional – falls nicht bereits in situ befindlich – die Insertion einer Magensonde zur passiven oder aktiven Drainage des Mageninhaltes erfolgen oder die enterale Ernährungstherapie angepasst werden. Somit könnten mit erhöhtem Residualvolumen einhergehende Risiken minimiert werden. Es ist vorstellbar, dass das Pflegepersonal die sonographische Residualvolumenbestimmung anhand der Vermessung des Magenantrums erlernt. In anderen Bereichen wurde die Schulung des Pflegepersonals bereits erfolgreich praktiziert: Nach Einführung und Übungszeit war es ihnen möglich, mit ähnlicher Genauigkeit wie ärztliches Personal beispielsweise ein FAST („Focussed assessment with sonography in trauma“)

durchzuführen (11) oder Aortenaneurysmata auszumessen (47). Die Etablierung von Pocket devices ist von klinischem Interesse, da aufgrund schneller Verfügbarkeit eventuell eine raschere Diagnostik möglich ist. Denkbar ist auch die mobile Nutzung oder Mitführen des Gerätes in der Kitteltasche, was ein sofortiges „hands-on“ ermöglichen würde.

Zusammenfassend ist die sonographisch gestützte Bestimmung des gastralen Residualvolumens bei enteral ernährten, chirurgischen Intensivpatienten sowohl mit einem Standardgerät als auch mit einem Pocket device möglich. Zur Prävention der mit erhöhtem gastralen Residualvolumen einhergehenden Risiken ist ein erweitertes Monitoring im Sinne zusätzlicher Ultraschalldiagnostik empfehlenswert, weshalb eine weitere Etablierung dieser Methodik auch zukünftig von Interesse sein kann.

7. Anhang

Die verwendeten Personalbegriffe in dieser Arbeit beziehen sich gleichermaßen auf Frauen und Männer.

7.1 Patientenaufklärung

Wissenschaftliche Untersuchung der
Klinik für Anaesthesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie
Direktor: Prof. Dr. med. T. Volk

Validierung der ultraschallgestützten Volumenbestimmung des Magens bei Intensivpatienten

Patienteninformation

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,

in diesem Schreiben möchten wir Sie über die o.g. Untersuchung informieren. Wir bitten Sie, diese Information sorgfältig durchzulesen und sich bei Unklarheiten an Ihren Studienarzt zu wenden, der mit Ihnen ein ausführliches Aufklärungsgespräch führen wird.

Um das Risiko des Eindringens von Mageninhalt in die Lunge (Aspiration) im Rahmen der Ernährungstherapie zu minimieren, führen wir täglich mehrmals einen sogenannten Refluxtest durch. Im Rahmen des Testes wird die Sondenkost pausiert und die Sonde mit wenigen ml Wasser gespült um die Durchgängigkeit zu prüfen. Nach 30-minütigem Abklemmen der Sonde wird für 15 Minuten ein Rücklaufbeutel angeschlossen. Anhand der Rücklaufmenge aus dem Magen wird auf die Verträglichkeit der künstlichen Ernährung und das Aspirationsrisiko geschlossen.

Im Rahmen der Studie soll nun täglich die Aussagekraft des derzeit routinemäßig durchgeführten Refluxtests mit ultraschallgestützten Untersuchungsmethoden (bzw. zwei Ultraschallgeräten) zur Bestimmung des Magenvolumens miteinander verglichen werden. Bei den ultraschallgestützten Untersuchungen handelt es sich um nichtinvasive, schmerzfreie und somit nicht belastende Methoden, die nach derzeitigem Wissensstand keinerlei Nebenwirkungen aufweisen und innerhalb kurzer Zeit (im Rahmen des Refluxtestes) durchgeführt werden können. Die tägliche Ultraschalluntersuchung wird pro Tag dabei eine Dauer von 15 Minuten nicht überschreiten. Ihr Einverständnis vorausgesetzt, werden die Untersuchungen einmal täglich bis zur Beendigung der Ernährungstherapie via Magensonde oder bis zu Ihrer Verlegung durchgeführt.

Durch die in dieser Studie gewonnenen Ergebnisse ist es in der Zukunft ggf. möglich einerseits auf den Refluxtest zu verzichten und somit die Unterbrechungen der enteralen Ernährung zu minimieren und andererseits ein mögliches Aspirationsrisiko frühzeitig zu erkennen.

Die im Rahmen der geplanten Studie erhobenen Daten werden in pseudonymisierter Form, also ohne Namensnennung, gesammelt und ausgewertet. Die Bestimmungen der ärztlichen Schweigepflicht und des Datenschutzes sind gewährleistet. Wir weisen jedoch darauf hin, dass zu Kontrollzwecken den Überwachungsbehörden bzw. speziell autorisierten Personen eine Einsichtnahme in Ihre Krankenakte gestattet wird. Mit Ihrem Einverständnis zur Teilnahme an der Studie stimmen Sie auch dieser Offenlegung zu. Wir versichern jedoch, dass Ihre personenbezogenen Daten absolut vertraulich behandelt werden und nicht an die Öffentlichkeit gelangen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden in pseudonymisierter, zusammengefasster Form veröffentlicht.

Abschließend möchten wir anmerken, dass Ihnen bei Ablehnung in die Teilnahme keinerlei Nachteile in der Behandlung entstehen und dass Sie selbstverständlich Ihre Einwilligung jederzeit ohne Angaben von Gründen widerrufen können, ohne dass Ihnen Nachteile entstehen.

Vielen Dank für Ihre Unterstützung und Ihr Verständnis

Dr. med. H. V. Groesdonk

Dr. med. A. Meiser

Prof. Dr. med. T. Volk

7.2 Einverständniserklärung

Einverständniserklärung zur wissenschaftlichen Untersuchung der
Klinik für Anaesthesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie

Direktor: Prof. Dr. med. T. Volk

Validierung der ultraschallgestützten Volumenbestimmung des Magens bei Intensivpatienten

Ich, _____ (Vorname) _____ (Name),
geboren am _____ bin über Inhalt, Zielsetzung sowie über Vorteile und
Risiken der wissenschaftlichen Untersuchung am _____
um _____ (Uhr) von Herrn/Frau Dr. _____ ausführlich
aufgeklärt worden. Außerdem hatte ich die schriftliche Information über diese Studie
erhalten und gelesen. Ich habe die Aufklärung verstanden und alle mich
interessierenden Fragen über die möglichen Vor- und Nachteile sowie speziellen
Risiken wurden erschöpfend beantwortet.

Ich bin einverstanden, an dieser klinischen Untersuchung teilzunehmen.

Mir ist bekannt, dass ich meine Einwilligung in die Teilnahme an der
wissenschaftlichen Untersuchung jederzeit ohne Angaben von Gründen widerrufen
kann, ohne dass mir irgendwelche Nachteile entstehen.

Homburg, den _____

Unterschrift des Probanden _____

Unterschrift des Studienarztes _____

Die im Rahmen der geplanten Studie erhobenen Daten werden in pseudonymisierter Form, also ohne Namensnennung, gesammelt und ausgewertet. Die Bestimmungen der ärztlichen Schweigepflicht und des Datenschutzes sind gewährleistet. Wir weisen jedoch darauf hin, dass zu Kontrollzwecken den Überwachungsbehörden bzw. speziell autorisierten Personen eine Einsichtnahme in Ihre Krankenakte gestattet wird. Mit Ihrem Einverständnis zur Teilnahme an der Studie stimmen Sie auch dieser Offenlegung zu. Wir versichern jedoch, dass Ihre personenbezogenen Daten absolut vertraulich behandelt werden und nicht an die Öffentlichkeit gelangen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden in pseudonymisierter, zusammengefasster Form veröffentlicht.

7.3 Glossar

APACHE II (Acute Physiology And Chronic Health Evaluation II)

Innerhalb von 24 Stunden nach Aufnahme auf der Intensivstation erstellter Score zur Erfassung der Krankheitsschwere eines Patienten. Hierbei werden 12 physiologische Variablen berücksichtigt, darunter der jeweils schlechteste Wert von Vitalparametern, ggf. Beatmungsparametern, arteriellem pH-Wert, Serumelektrolyten, Kreatinin, Hämatokrit, Leukozyten, Glasgow Coma Scale. Patientenalter sowie Vorerkrankungen. Es kann ein Punktwert von maximal 71 erreicht werden; ein höherer Wert entspricht einer größeren Schwere der Erkrankung. Ein APACHE II von 25 korrespondiert beispielsweise zu einer prognostizierten Mortalität von 50 % und ein Score > 35 einer prognostizierten Mortalität von 80 % (31) (46).

Harris-Benedict-Gleichung

Geschlechtsspezifische Berechnung des Grundumsatzes unter Berücksichtigung von Körpergewicht, Körpergröße und Alter (35).

Ireton-Jones-Gleichung

Geschlechtsspezifische Berechnung des Grundumsatzes unter Unterscheidung von spontan atmenden zu beatmeten Patienten. Davon abhängig erfolgt eine Berücksichtigung von Alter, Körpergewicht (BMI) sowie vorausgegangener Verbrennung oder Trauma (35).

Nutritional Risk Screening 2002

Screening auf Bestehen von oder Risiko für die Entwicklung von Unter- oder Mangelernährung. Hierbei werden in einem Vorscreening der BMI, der Gewichtsverlauf und die Ernährungssituation berücksichtigt sowie die Krankheitsschwere des Patienten. Wenn notwendig, erfolgt im Hauptscreening eine weitere detailliertere Beurteilung (36).

SAPS II (Simplified Acute Physiology Score II)

Score zur Erfassung der Krankheitsschwere eines Patienten. Hierbei werden die schlechtesten Werte von 17 Parametern einbezogen, die innerhalb 24 h nach dem

Ereignis erhoben wurden, das zur Intensivpflichtigkeit geführt hat. Hierzu gehören das Patientenalter, Vitalparameter, ggf. Beatmungsparameter, Urinausscheidung, Harnstoff, Serumelektrolyte, Bilirubin, Glasgow Coma Scale und Vorerkrankungen. Ein höherer Punktwert entspricht einer größeren Schwere der Erkrankung (29) (46).

7.4 Abkürzungsverzeichnis

A./Aa. (lat.)	arteria(e) - Arterie(n)
ACTH	Adrenocorticotropin
ATPase	Adenosintriphosphatasen
BMI	Body Mass Index: kg/m ²
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CT	Computertomographie
et al. (engl.)	et alia - und andere (Personen)
ggf.	gegebenenfalls
IgA	Immunglobulin A
IOI	Interdisziplinäre operative Intensivstation
lig. (lat.)	ligamentum - Ligament, Band
PEG	Perkutane endoskopische Gastrostomie
PEJ	Perkutane endoskopische Jejunostomie
s.	siehe
u.a.	unter anderem
z.B.	zum Beispiel
2D	zweidimensional

hands-on (engl.) „Handanlegen“, hier: rasche Diagnostik

Einheiten

kcal/kgKG/d	Kalorien pro Kilogramm Körpergewicht pro Tag
kcal/ml	Kalorien pro Milliliter
mOsm/l	Milliosmol pro Liter
mg/dl	Milligramm pro Deziliter

8. Literaturverzeichnis

1. Adolph M, Heller A, Koch T, Koletzko B, Kreymann KG, Krohn K, Pscheidl E, Senkal M (2007) Leitlinie Parenterale Ernährung der DGEM: Aminosäuren, Lipidemulsionen. Supplement der Aktuellen Ernährungsmedizin 32: 13-17, 22-29
2. Aloy A (2007) Chirurgische Intensivmedizin: Kompendium für die Praxis. Springer: 165
3. Arzola C, Carvalho JC, Perlas A, Siddiqui NT (2015) Bedside Gastric Ultrasonography in Term Pregnant Women Before Elective Cesarean Delivery: A Prospective Cohort Study. *Anesth Analg* 121 (3): 752-758
4. Bartlett Ellis RJ, Fuehne J (2015) Examination of accuracy in the assessment of gastric residual volume: a simulated, controlled study. *JPEN Journal of Parenteral and Enteral Nutrition* 39 (4): 434-440
5. Bartusch O, Finkl M, Jaschinski U (2008) Aspirationssyndrom: Epidemiologie, Pathophysiologie und Therapie. *Der Anästhesist* 57 (5): 519-530
6. Bataille A, Bonnet F, Marret E, Rousset, J (2014) Ultrasonographic evaluation of gastric content during labour under epidural analgesia: a prospective cohort study. *British Journal of Anaesthesia* 112 (4): 703–707
7. Bharucha AE, Burton D, Camilleri M, Veil E, Zinsmeister AR (2013) Comprehensive assessment of gastric emptying with a stable isotope breath test. *Neurogastroenterol Motil* 25(1) :60-69
8. Blot SI, Kollef M, Poelaert J (2014) How to avoid microaspiration? A key element for the prevention of ventilator-associated pneumonia in intubated ICU patients. *BMC Infectious Diseases* 14: 119
9. Blumenstein I, Shastri YM, Stein J (2014) Gastroenteric tube feeding: Techniques, problems and solutions. *World Journal of Gastroenterology* 20 (26): 8505-8524
10. Bouvet L, Allaouchiche B, Benhamou D, Boselli E, Chassard D, Mazoit JX (2011) Clinical assessment of the ultrasonographic measurement of antral area for estimating preoperative gastric content and volume, *Anaesthesiology* 114 (5): 1086-1092
11. Bowra J, Valdwel E, Cox M, D'Amours SK, Forrest-Holder S (2010) Validation of nurse-performed FAST ultrasound. *Injury* 41 (5): 484-487
12. Breum BM, Kirkegaard T, Nordentoft T, Rud B (2015) Accuracy of abdominal auscultation for bowel obstruction. *World Journal of Gastroenterology* 21 (34): 10018-10024
13. Canadian Clinical Practice Guidelines 2015 Summary of revisions to the recommendations. *Clinical Care nutrition*: 1-12
14. Colli A, Balduini C, Casazza G, Colombo F, Della Valle S, Fraquelli M, Prati D, Vescovi PP (2015) The use of a pocket-sized ultrasound device improves physical examination: results of an in- and outpatient cohort study. *PloS One* 10 (3): 1-10
15. Deane, A, Burgstad C, Bryant LK, Chapman MJ, Fraser RJ, Nguyen NQ (2007) Mechanisms underlying feed intolerance in the critically ill: implications for treatment. *World Journal of Gastroenterology* 13(29): 3909-3917
16. Elke G, Felbinger TW, Heyland DK (2015) Gastric residual volume in critically ill patients: a dead marker or still alive? *Nutrition in Clinical Practice* 30 (1): 59-71

17. Finfer S, Chittock DR, Su SY, Blair D, Bellomo R, Cook D, Dhingra V, Dodek P, Foster D, Hebert PC, Henderson WR, Heritier S, Heyland DK, McArthur C, McDonald E, Mitchell I, Myburgh JA, Norton R, Potter J, Robinson BG, Ronco JJ (2009) Intensive versus conventional glucose control in critically ill patients. *The New England Journal of Medicine* 360 (13): 1283-1297
18. Golinski M (2011) SOP Standard Operating Procedure V: Ernährung des Intensivpatienten: 1-9
19. Grabowski A (2013) Neurologische Akut- und Intensivmedizin. Manual für den klinischen Alltag: 491-493 E-Book (15.03.2016)
20. Gross M (2007) Sonographie. Schritt für Schritt zur Diagnose. 1. Auflage. Urban & Fischer, München, Jena: 271
21. Hamada SR, Garcon P, Kerever S, Mantz J, Paugam-Burtz C, Ronot M (2014) Ultrasound assessment of gastric volume in critically ill patients. *Intensive Care Med* 40 (7): 965–972
22. Hartl WH, Muhl E (2011) Stoffwechselveränderungen und Ernährungstherapie von Patienten nach großen viszeralchirurgischen Eingriffen und bei chirurgischen Intensivpatienten *Viszeralmedizin* 27: 28-40
23. Haverkamp W, Herth F, Messmann H (2008) Internistische Intensivmedizin: Methoden – Diagnose – Therapie. 1. Auflage. Thieme: 426-427
24. Henne-Bruns D, Dürig M, Kremer B (2003) Duale Reihe Chirurgie. 2. Auflage. Thieme, Stuttgart: 133-137, 141
25. Herold G (2013) Innere Medizin. Gerd Herold, Köln: 596-598
26. Heyland DK, Wischmeyer PE (2013) Does artificial nutrition improve outcome of critical illness? An alternative viewpoint! *Critical Care* 17(4): 324
27. Hsu CW, Huang HH, Lee DL, Li HJ, Lin SL, Sun SF, Wong KF (2011) Impact of disease severity on gastric residual volume in critical patients. *World Journal of Gastroenterology* 17(15): 2007-2012
28. http://www.criticalcarenutrition.com/docs/PEPuPCollaborative/NUTRIC%20Score%201%20page%20summary_19March2013.pdf (21.02.2017)
29. http://www.divi.de/images/Dokumente/Empfehlungen/Qualitaetssicherung/2000_saps2.pdf (31.08.2017)
30. http://www3.gehealthcare.de/de-de/produkte/kategorien/ultraschall/vscan_portfolio/vscan#tabs/tab60521D1B14624B0FA2FF0370761E30C2 (19.06.2017)
31. <http://www.intensivcareunit.de/download/apache2.pdf> (31.08.2017)
32. Kreymann KG, Berger MM, Deutz NEP, Hiesmayr M, Jolliet P, Kazandjiev G, Nitenberg G, van den Berghe G, Wernerman J, DGEM: Ebner C, Hartl W, Heymann C, Spies C (2006) ESPEN Guidelines on Enteral Nutrition: Intensive care. *Clinical Nutrition* 25: 210-223
33. Kimura BJ, DeMaria AN (2005) Technology insight: hand-carried ultrasound cardiac assessment – evolution, not revolution. *Nature Clinical Practice Cardiovascular Medicine* 2: 217-223
34. Kimura BJ, Gilcrease GW, Phan JN, Showalter BK, Wolfson T (2012) Diagnostic performance of a pocket-sized ultrasound device for quick-look cardiac imaging. *The American Journal of Emergency Medicine* 30 (1): 32-36
35. Kollef, Bedient, Iskow, Witt (2008) *The Washington Manual of Critical Care*, 1st ed. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia: 467-475
36. Kondrup J, Allison SP, Elia M, Plauth M, Vellas B (2003) Guidelines for Nutrition Screening 2002. *Clinical Nutrition* 22 (4): 415-421

37. Kruisselbrink R, Arzola C, Chan V, Endersby R, Perlas A, Tse C (2014) Intra- and interrater reliability of ultrasound assessment of gastric volume, *Anesthesiology* 121 (1): 46-51
38. Ligtoet C, Bom N, Kappen L, Rijsterborgh H (1978) Real time ultrasonic imaging with a hand-held scanner. Part I-technical description. *Ultrasound in Medicine & Biology* 4 (2): 91-92
39. Mancuso FJ, Campos O, Carvalho AC, Moisés VA, Siqueira VN, Teixeira Gois AF, Paola AA (2014) Focused cardiac ultrasound using a pocket-size device in the emergency room, *Arquivos Brasileiros de Cardiologia* 103(6): 530-537
40. McClave SA, Braunschweig C, Compher C, Cresci GA, Davanos E, Gervasio JM, Johnson DR, Martindale RG, McCarthy MS, Rice TW, Roberts PR, Sacks GS, Taylor BE, Warren MM (2016) Guidelines for the Provision and Assessment of Nutrition Support Therapy in the Adult Critically Ill Patient: Society of Critical Care Medicine (SCCM) and American Society for Parenteral and Enteral Nutrition (A.S.P.E.N.). *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition* 40 (2): 159–211
41. Metheny NA, Clouse RE, Chang YH, Kollef MH, Oliver DA, Stewart BJ (2006) Tracheobronchial aspiration of gastric contents in critically ill tube-fed patients: frequency, outcomes and risk factors. *Crit Care Med* 34: 1007–1015
42. Metheny NA, Clouse RE, Oliver DA, Schallom L (2008) Gastric residual volume and aspiration in critically ill patients receiving gastric feedings. *Am J Crit Care* 17 (6): 512-519
43. Mjølstad OC, Dalen H, Graven T, Haugen BO, Kleinau JO, Salvesen O (2012) Routinely adding ultrasound examinations by pocket-sized ultrasound devices improves inpatient diagnostics in a medical department. *European Journal of Internal Medicine* 23 (2): 185–191
44. Montejo JC, Acosta J, Bordeje L, Fernandez-Ortega F, Ferre M, Heras A, Manzanedo R, Mesejo A, Minambres E, Montejo (2010) Gastric residual volume during enteral nutrition in ICU patients: the REGANE study. *Intensive Care Med* 36 (8): 1386-1393
45. Moreira TV, McQuiggan M (2009) Methods for the assessment of gastric emptying in critically ill, enterally fed adults. *Nutrition in Clinical Practice* 24 (2): 261-273
46. Naqvi IH, Kashif SM, Mahmood K, Sharif A, Ziaullaha S (2016) Better prognostic marker in ICU - APACHE II, SOFA or SAP III!. *Pak J Med Sci.* 2016;32(5):1146-1151
47. Nguyen AT, Hill GB, Thomson IA, van Rij AM, Versteeg MP (2013) Novices may be trained to screen for abdominal aortic aneurysms using ultrasound. *Cardiovasc Ultrasound* 11: 42
48. Perlas A, Chan VWS, Lupu CM, Mitsakakis N, Hanbidge A (2009) Ultrasound assessment of gastric content and volume. *Anesthesiology* 111: 82–9
49. Perlas A, Cino M, Chan V, Cubillos J, Davis L, Haldipur N, Liu L, Mitsakakis N (2013) Validation of a mathematical model for ultrasound assessment of gastric volume by gastroscopic examination. *Anesth Analg* 116 (2): 357-363
50. Raidoo DM, Brock-Utne JG, Engelbrecht HE, Marszalek A, Rocke DA (1990) Critical volume for pulmonary acid aspiration: reappraisal in a primate model. *British Journal of Anaesthesia* 65: 248-250
51. Schäfer A (2014) Kalorien, Proteine – was braucht der Intensivpatient? *Med Klin Intensivmed Notfmed* 109: 52–60

52. Silverthorn DU (2009) Physiologie. 4. Auflage. Pearson Studium, München: 981-1019
53. Singer P, Berger MM, Biolo G, Calder P, Forbes A, Griffiths R, Kreyman G, Lerverve X, Pichard C, van den Berghe G (2009) ESPEN Guidelines on Parenteral Nutrition: Intensive care. *Clinical Nutrition* 28: 387-400
54. Skjetne K, Dalen H, Graven T, Haugen BO, Kleinau JO, Salvesen O (2011) Diagnostic influence of cardiovascular screening by pocket-size ultrasound in a cardiac unit. *European Journal of Echocardiography* 12 (10): 737–743
55. Soybel DI (2005) Anatomy and Physiology of the Stomach. *Surgical Clinics of North America* 85 (5): 875-894
56. Standring S (2008) Gray's Anatomy. The Anatomical Basis of Clinical Practice. 40th ed. Churchill Livingstone: 1051, 1099, 1111-1122
57. Stock KF, Clevert DA, Eyer F, Heeman U, Klein B, Lersch C, Steubl D, Wagenpfeil S (2015) Comparison of a pocket-size ultrasound device with a premium ultrasound machine: diagnostic value and time required in bedside ultrasound examination. *Abdominal Imaging* 40 (7): 2861-2866
58. Van de Putte P, Perlas A (2014) Gastric sonography in the severely obese surgical patient: a feasibility study. *Anesth Analg* 119 (5): 1105-1110
59. Welsch, U (2006) Lehrbuch der Histologie. 2. Auflage. Elsevier, München: 363, 368

9. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Heinrich-Volker Groesdonk, meinem „Doktorvater“, für seine hervorragende Betreuung und Unterstützung, seine unermüdliche konstruktive Hilfe und Kritik, seine Geduld, seinen Zuspruch, seine Erreichbarkeit zu jeder Zeit und zu guter Letzt für die Möglichkeit, am ESICM-Kongress 2015 in Berlin teilzunehmen und dort unsere Studienergebnisse vorzustellen.

Mein Dank geht weiterhin an Herrn Dr. med. Hagen Bomberg, der bei der statistischen Auswertung der Arbeit geholfen und mir immer wieder neue Blickwinkel präsentiert sowie hilfreiche Ideen und Denkanstöße gegeben hat.

Ich bedanke mich weiterhin bei Herrn Dr. med. Andreas Meiser für sein Interesse am Studienverlauf und konstruktive Ratschläge. Weiterhin vielen Dank für das Zurverfügungstellen des „Pocket device“.

Danke auch an die übrige nicht-namentlich erwähnte Ärzteschaft der IOI sowie die Mitarbeiter der Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie des Universitätsklinikum des Saarlandes.

Insbesondere ein großes Dankeschön an das gesamte Pflegepersonal der IOI für die gute Zusammenarbeit, die Einführung in das Betriebssystem und viele hilfreiche praktische Tipps.

Herzlichen Dank an alle Patienten die an dieser Studie teilgenommen haben. Ihnen und ihren Angehörigen vielen Dank für das Einverständnis zur Teilnahme an der Studie.

Lieben Dank meinem Freund für seine Unterstützung zu jeder Zeit.

Ein gesonderter Dank gilt meinen Eltern, die mich während des Studiums und darüber hinaus stets unterstützt haben und immer hinter mir stehen.