

Aus dem Institut für Röntgendiagnostik
der Universität Würzburg
Abteilung für Pädiatrische Radiologie
Leiter: Prof. Dr. med. K. Darge

Darmsonographie bei Kindern

Vergleich von fundamentaler und harmonischer Bildgebung

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät der
Bayerischen Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von
Britta Schlauß
aus Stuttgart

Würzburg, Februar 2007

Referent: Prof. Dr. med. K. Darge
Koreferent: Prof. Dr. med. H.-M. Straßburg
Dekan: Prof. Dr. med. M. Frosch

Tag der mündlichen Prüfung : 22.05.2007

Die Promovendin ist Ärztin

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	Die harmonische Bildgebung bei Kindern	3
1.2	Die Darmsonographie.....	3
1.3	Zielsetzung	4
2	MATERIAL UND METHODEN.....	6
2.1	Patienten	6
2.2	Sonographische Darstellungskriterien des Darms.....	6
2.3	Bildaufnahme	9
2.4	Bildanalyse	9
2.5	Statistische Methoden.....	10
3	ERGEBNISSE	12
3.1	Vergleich von fundamentaler Bildgebung und THI in der Darmsonographie	12
3.1.1	Wand.....	12
3.1.2	Lumen	16
3.1.3	Bildqualität.....	18
3.2	Potentielle Einflussfaktoren in der Vergleichs-Darmsonographie	20
3.2.1	Geschlecht.....	20
3.2.2	Alter	21
3.2.3	Body Mass Index (BMI)	21
3.3	Zusammenhang der Darstellbarkeit des Darms mit Darmpathologien	22
3.4	Vergleich von fundamentaler Bildgebung und THI bei der Darstellbarkeit von mesenterialen Lymphknoten.....	23
3.5	Vergleich von fundamentaler Bildgebung und THI bei freier abdomineller Flüssigkeit.....	26

4	DISKUSSION.....	29
4.1	Geschlecht	31
4.2	Alter.....	31
4.3	BMI.....	31
4.4	Vorteile von Tissue Harmonic Imaging (THI).....	33
4.5	Darmsonographie	35
4.6	Lymphknoten.....	37
4.7	Freie abdominelle Flüssigkeit.....	38
4.8	Limitationen	38
4.9	Schlussfolgerung	39
5	ZUSAMMENFASSUNG	41
6	ANHANG	43
6.1	Abbildungsverzeichnis	43
6.2	Auswertungsbogen	44
6.3	Literaturverzeichnis.....	46

Abkürzungsverzeichnis

BMI	Body-Mass-Index
BMI-FAP	Body-Mass-Index for age percentiles
CED	chronisch entzündliche Darmerkrankung
CF	Cystische Fibrose
CT	Computertomographie
ES	Effektstärke (effect size)
FAP	Freie abdominelle Flüssigkeit
FI	Fundamental imaging (fundamentale Bildgebung)
HI	Harmonic imaging (harmonische Bildgebung)
LK	Lymphknoten
KM	Kontrastmittel
MRT	Magnet-Resonanz-Tomographie
MUS	Miktionsurosonographie
PIHI	Pulse/phase inversion harmonic imaging
POCS	Polyzystisches Ovarialsyndrom
RTSC	Real-time spatial compounding
SHI	Second harmonic imaging
SICUS	Small intestine contrast ultrasonography
SPSS	Statistical package for the social science
THI	Tissue harmonic imaging
US	Ultraschall

1 Einleitung

Nach einer gründlichen Anamnese und der klinischen Untersuchung ist öfters der Ultraschall (US) das erste bildgebende Verfahren, welches zur Diagnosefindung bei Bauchschmerzen und/oder gastrointestinalen Symptomen bei Kindern angewendet wird [1]. Die Sonographie des Abdomens birgt kein bekanntes Risiko. Sie ist im Vergleich zu anderen bildgebenden Verfahren wie zum Beispiel dem Magnet-Resonanztomographie (MRT) oder Computertomographie (CT) kostengünstig, überall durchführbar sowie schnell und einfach anwendbar. Aufgrund ihrer Nicht-Invasivität, Schmerzlosigkeit und fehlenden Strahlenbelastung ist sie insbesondere für Kinder geeignet.

Die Qualität der Bilder ist jedoch unterschiedlich. Gründe dafür können die Erfahrung und Routine des Untersuchers, die Gerätequalität oder auch erschwerte Untersuchungsbedingungen wie ein schwer zu schallender Patient bei konstitutionellen Nachteilen (Übergewicht, Zusammensetzung der Bauchwand, kleinere Zwischenrippenräume), die Immobilität bei frischoperierten Patienten sowie behindernde Faktoren wie interponierte Darmschlingen sein [2].

Der Darm wird demnach aufgrund störender intraluminaler Luft generell eher als Ärgernis bei einer Ultraschalluntersuchung gesehen. Er hat jedoch als zu schallendes Organ mittlerweile ein breites Anwendungsgebiet in der Sonographie. Obwohl „Kinder mit ihrem kleineren Körperdurchmesser deutlich bessere Schallbedingungen als Erwachsene bieten“ [3], stellen US-Untersuchungen des Darms auch bei ihnen eine Herausforderung dar. In dieser Studie interessiert uns vor allem, ob mit einer Weiterentwicklung des Ultraschalls, der harmonischen Bildgebung, eine bessere Darstellung des Darms gelingt.

Die fundamentale Bildgebung (FI) entspricht dem konventionellen Ultraschall. Dabei entstehen Bilder als Echo einer ausgesendeten Frequenz [4]. Die harmonische Bildgebung (HI) benutzt zur Erstellung des Ultraschallbilds harmonische

Schwingungen, die vom Gewebe erzeugt werden. Sie wurde eingeführt, um die Bildgebung bei adipösen Erwachsenen zu verbessern.

Viele Autoren empfehlen mittlerweile den Routinegebrauch von HI für die Abdomen-Sonographie bei Erwachsenen [5, 6]. Dies erklärt sich durch zahlreiche Vergleichsstudien, die von der Überlegenheit der harmonischen gegenüber der fundamentalen Bildgebung berichten. Bei der Abdomensonographie wurde bei normalen und pathologischem Gewebe ermittelt, dass bei den untersuchten Parametern Bildqualität, Auflösung, Detail, Bildkontrast, Abgrenzbarkeit von Organen gegenüber benachbarten Strukturen, Reduktion von Artefakten in zystischen Strukturen und Gefäßen, Erkennen von krankhaften Veränderungen und Sicherheit in die Diagnosestellung mit HI gegenüber FI eine signifikante Verbesserung eintritt [5, 7-9]. In der Leber waren mittels HI die Differenzierung von echoarmen Rundherd und Zyste, sowie die Detektion von Metastasen einfacher [10, 11]. Pulse/phase inversion harmonic imaging (PIHI) zeigte signifikante Vorteile gegenüber second harmonic imaging (SHI) und FI in Deutlichkeit sowie Charakterisierung von soliden Veränderungen der Leber wie Leberzirrhose bedingte Knoten und Metastasen [12]. In der Gallenblase und den Gallenwegen ist die Diagnose von Gallensteinen bzw. deren Schallschatten sowie Gallenblasensludge mit HI verbessert [13, 14]. Der Gallengang (Länge, Lumen, Wände) sowie dessen Pathologien (intraluminale Raumforderung) sind mit HI signifikant besser darstellbar [15]. Bei Patienten nach Cholezystektomie kann insbesondere der distale Anteil des Ductus choledochus und sein Inhalt mit HI signifikant besser dargestellt werden [16]. In der Betrachtung der normalen und „pathologischen“ Gallenblase (Wandverdickung, Polyp, Steine, Sludge) war PIHI beiden Modalitäten und SHI nur FI signifikant überlegen [17]. Sogar bei dem schwer zu schallenden Pankreas ist der Einsatz von THI von Vorteil. Bei der akuten Pankreatitis stellte sich der Pankreasschwanz mittels THI signifikant besser dar als mit FI [4]. Mit PIHI ist bei Pathologien des Pankreas die Bildqualität, die Darstellung von krankhaften Veränderungen, die Differenzierung solid/flüssig und die Darstellung des Pankreasschwanzes signifikant besser [18]. Unter Verwendung eines Endosonokopes mit radialem elektronischen Scanner [19] wurden mit THI bei Erkrankungen des Pankreas sowohl zystische als auch solide Veränderungen und deren Grenzen

signifikant besser dargestellt als mit FI [20]. Bei der Untersuchung von 33 Patienten nach einer Nieren-Pankreas-Transplantation war THI bei der Charakterisierung des Details der Spender-Drüse signifikant überlegen [21]. Es existieren weitere Studien, die die signifikante Verbesserung der Bilder mittels HI bei der Niere [22, 23] zeigen. Die harmonische Bildgebung wird auch bei den Untersuchungen der Schilddrüse [24], dem Herzen [25-29] und den Gefäßen [30] als vorteilhaft angesehen. Die Überlegenheit von HI gegenüber FI zeigt sich auch in anderen Fachgebieten wie der Neurologie [31], der Orthopädie [32] und der Gynäkologie [33-36]. In der Pränataldiagnostik bei schwangeren Frauen waren die fetalen Strukturen mittels HI signifikant besser darstellbar [37, 38]. Die fetale Echokardiographie ist insbesondere bei übergewichtigen Frauen verbessert [39].

1.1 Die harmonische Bildgebung bei Kindern

Für Kinder gibt es bisher nur wenige Studien, die sich mit der Anwendung und den möglichen Vorteilen von Harmonic Imaging beschäftigen. Eine kürzlich veröffentlichte Studie belegt, dass die Ultraschalluntersuchung der Appendix (Außenkontur, Wandschichtung, Schleimhaut, Lumeninhalt) bei histologisch gesicherter Appendizitis mit HI signifikant besser ist als mit FI [40]. Ebenso konnte bei der Darstellung des Harntrakts (Harnblase und Niere von dorsal) mit HI eine signifikante Verbesserung gegenüber FI bewiesen werden [41]. Der Einsatz von HI mit Kontrastmittel (KM) hat sich in der Kinderurologie zur Diagnose des vesikoureteralen Refluxes bei der Miktionsurosonographie (MUS) als vorteilhaft herausgestellt [42, 43]. Des Weiteren wurde der Einsatz von HI bei der Echokardiographie von Kindern untersucht [44-47]. Es konnte gezeigt werden, dass mit HI die kardialen Strukturen besser dargestellt werden können als mit FI [46]. Bei zervikalen Lymphknotenvergrößerungen war die diagnostische Effizienz des Ultraschalls bei der Verwendung von KM und HI bzw. 3D-Bildgebung erhöht [48].

1.2 Die Darmsonographie

„Die Magen-Darm-Trakt-Sonographie hat sich...“ mittlerweile „...zur wichtigsten bildgebenden Methode der gastroenterologischen Diagnostik entwickelt“ [49, 50]. Sie

ist das diagnostische Mittel erster Wahl bei dem akuten Abdomen, dem Verdacht auf Appendizitis oder Ileus, zur Diagnosefindung und Therapie bei der Invagination und zur Verlaufskontrolle der chronisch entzündlichen Darmerkrankung (CED) [51]. Über die Ultraschalluntersuchung bei der Invagination [52, 53] sowie der gesunden als auch kranken Appendix (Appendizitis) [54-59] existieren zahlreiche Studien. Weitere Studien widmen sich dem Einsatz von US bei der Zöliakie [60-62], verschiedenen Colitiden und Enteritiden [1, 63-65], Polypen [66], dem gangränösem Darm [67], sowie dem Einsatz von US zur Untersuchung bei cystischer Fibrose (CF) [68-71] oder der graft-versus-host Reaktion nach Knochenmarks-Transplantation [72]. Für die Darmsonographie ist Erfahrung des Untersuchers sowie hochauflösende Gerätetechnik notwendig [73]. Es wird auf die Wand (Dicke, Schichtung, Durchblutung), das Lumen (Inhalt, Kaliber), die Peristaltik und die Umgebung des Darms geachtet. Dabei stellt die Darmwand den wichtigsten Indikator für Darmerkrankungen dar [74]. Beim gesunden Darm ist oft nur die dem Schallkopf zugewandte Wand erkennbar, da ein echogener Darminhalt bzw. Luft eine Abbildung dahinter nicht möglich macht [49]. Eine Wandverdickung kann durch ein Ödem der Darmwand (Invagination), Muskelhypertrophie (Pylorushypertrophie), transmurale Entzündung (M. Crohn) oder Darmtumoren entstehen [75].

1.3 Zielsetzung

Da bei Kindern meist bessere physikalische Bedingungen herrschen (kleine Distanzen, weniger Fettgewebe), wurde dem Nutzen des Harmonic Imaging bei Kindern bisher nur wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Ebenso existieren kaum Studien über die Vorteile von HI bei der Darmsonographie. Unserem Wissen zufolge gibt es bisher keine systematische Studie, die sich mit dem Vergleich von HI und FI bei der allgemeinen Darmsonographie in der Routineuntersuchung von Kindern beschäftigt.

Unsere Studie hatte das Ziel die beiden Modalitäten HI und FI im Bezug auf die Bildqualität miteinander zu vergleichen. Wir stellten die Hypothese auf, dass die harmonische Bildgebung der fundamentalen bei der Darmsonographie überlegen ist. Dabei interessierte uns sowohl der kranke als auch der gesunde Darm. Auf Darmpathologien (Darmwandverdickung und Dilatation) und deren Zusammenhang mit

der Bildqualität, sowie auf die Umgebung des Darms (freie abdominelle Flüssigkeit und Lymphknoten) wurde eingegangen. Ebenso wurde ein möglicher Zusammenhang der Darstellbarkeit des Darms mit Alter, Geschlecht und BMI (Body Mass Index) evaluiert.

2 Material und Methoden

2.1 Patienten

Im Rahmen dieser Studie wurden von 90 Kindern Vergleichs-Ultraschallaufnahmen des Darms durchgeführt. Die Aufnahmen von 17 Patienten wurden retrospektiv in die Studie einbezogen. Bei 73 Patienten wurden die Aufnahmen prospektiv erstellt. Die Patienten kamen aufgrund verschiedener Indikationen zum Ultraschall des Abdomens in die Abteilung und erhielten keine besondere Vorbereitung auf die US-Untersuchung des Darms. Es fand keine Selektion der Patienten statt. Infolgedessen handelte es sich um Kinder mit und ohne Darmpathologien.

2.2 Sonographische Darstellungskriterien des Darms

Die Wand des Darms ist von innen nach außen folgendermaßen aufgebaut (Abb. 2.1). Die Grenzfläche zwischen Mukosa und Lumen imponiert echoreich, die Lamina muscularis mucosae echoarm, die Submucosa echoreich, die Muscularis propria echoarm und die Grenzfläche von Serosa zur Umgebung wiederum echoreich. Hat das Darmlumen einen erhöhten Flüssigkeitsgehalt, sind Plicae sichtbar. Das Lumen des Darms imponiert je nach Inhalt echoarm bis echoreich (Abb. 2.2). Ist es überwiegend mit Flüssigkeit gefüllt, ist es eher echoarm, Luft dagegen erscheint echoreich. Bei viel intraluminaler Luft, die stark reflektiert und streut, ist öfters nur die ventrale Wand erkennbar (Abb. 2.3).

In der vorliegenden Studie wird neben Darmwand, Lumen und Bildqualität unter anderem auf Darmpathologien eingegangen. Von einer Dilatation spricht man je nach Literatur beim Dünndarm ab einer Weite von 2,5 - 3cm (Jejunum ab 3cm, Ileum ab 2,5cm), beim Dickdarm ab 4,5 - 5cm [51, 76]. Eine Darmwandverdickung liegt ab 3mm vor [1]. In unserer Studie erfolgte keine Abmessung der Darmwandverdickung und Darmdilatation, sondern dies wurde subjektiv beurteilt (Abb. 2.4).

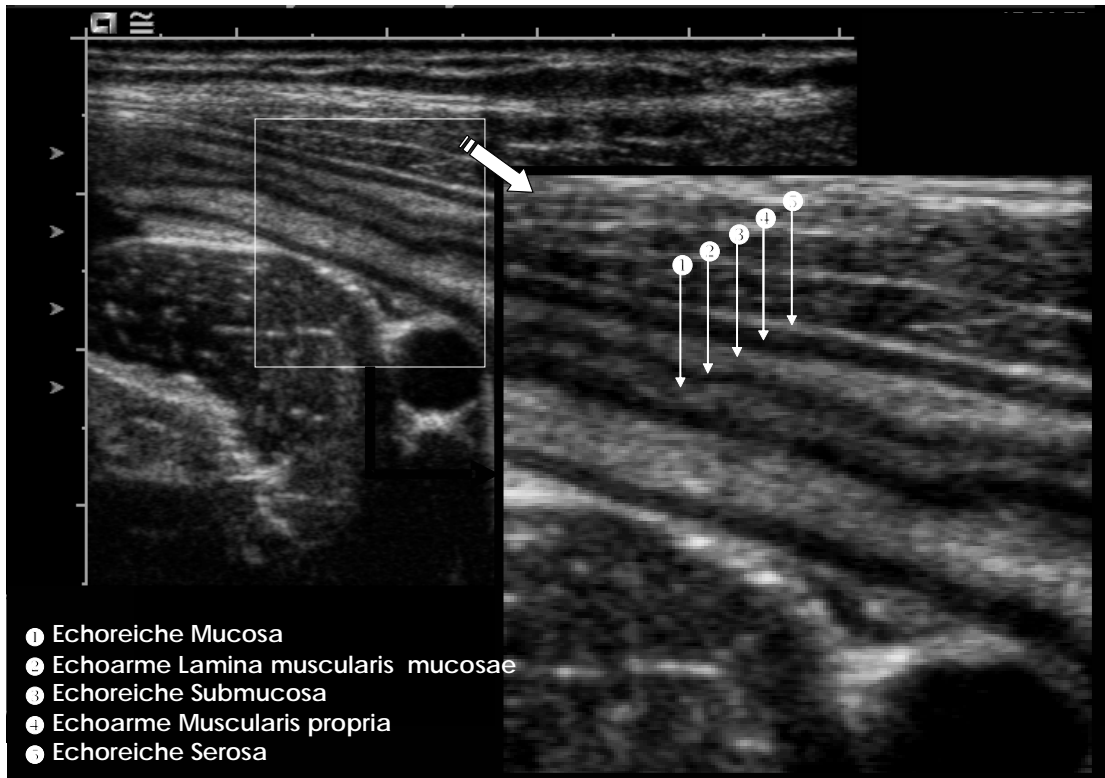


Abb. 2.1: Darstellung zur Erklärung der Darmwandschichtung (Querschnitt rechter Unterbauch mit Darstellung des M.psoas und Iliacalgefäße)

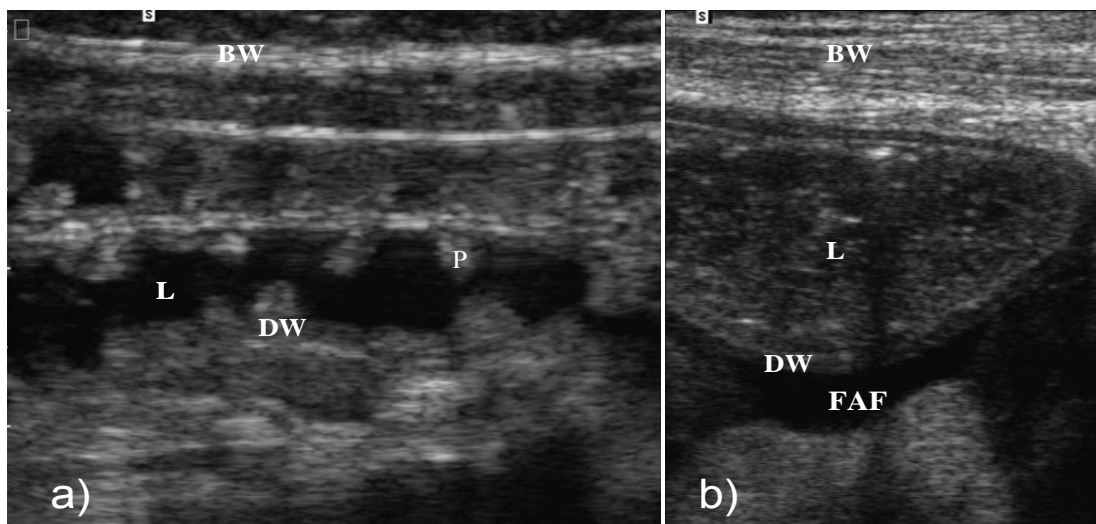


Abb. 2.2: Darm im a) Längs- und b) Querschnitt; a) mäßige Dilatation, Lumen echoarm; b) deutliche Dilatation, Lumen echoreich

L: Lumen, DW: Darmwand, P: Plicae, BW: Bauchwand, FAF: Freie abdominelle Flüssigkeit

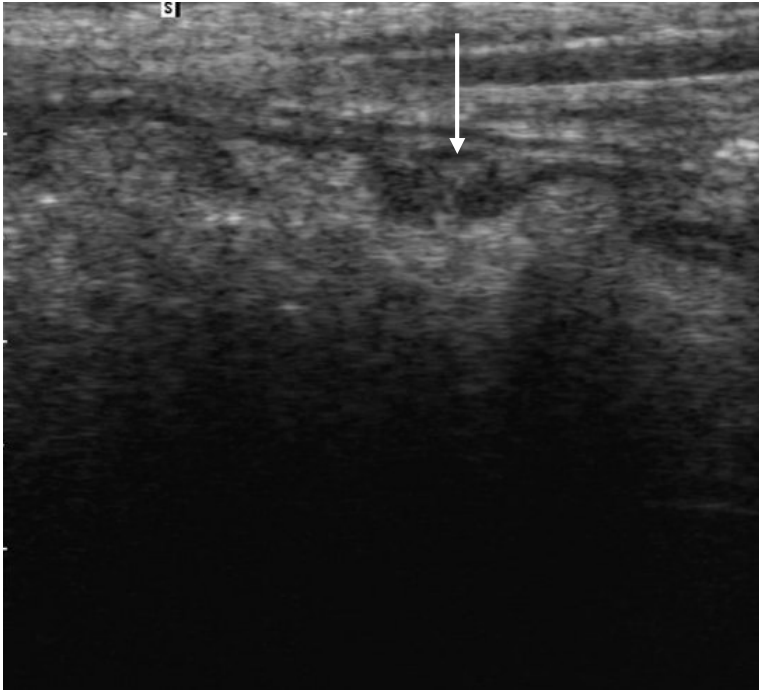


Abb. 2.3: Viel Luft im Darm, nur Darmwand (Pfeil) erkennbar, dorsale Schallauslöschung

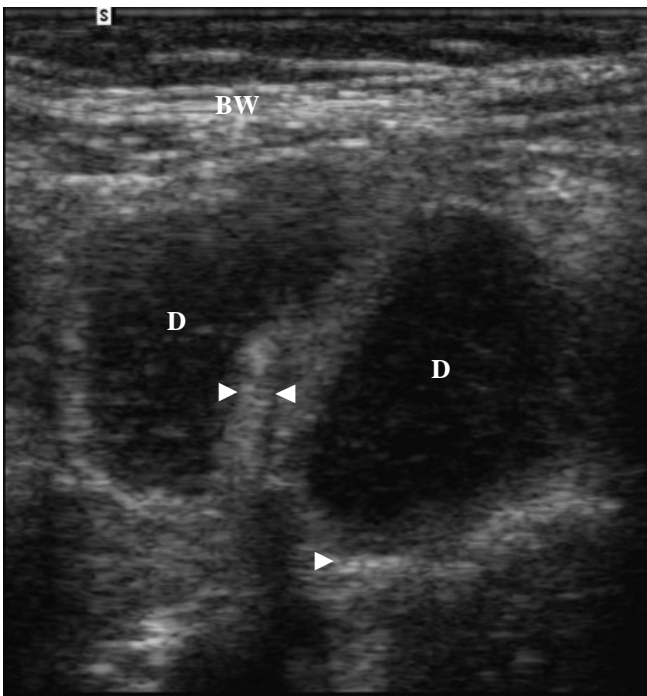


Abb. 2.4: Geringe Darmwandverdickung (▶) und mäßige Dilatation (D), (BW=Bauchwand)

2.3 Bildaufnahme

Die Bilder wurden mit einem linearen 7,5 MHz Schallkopf mit dem Siemens-Ultraschallgerät Sonoline Elegra (Siemens, Issaquah, USA) erstellt. Das Gerät verwendet für die harmonische Bildgebung „Ensemble™ Tissue Harmonic Imaging“. Dabei handelt es sich um die Breitband-Harmonic-Imaging-Methode, die auf einer Phaseninversionstechnik basiert. Die gewählte Geräteeinstellung war bei FI für die Basisfrequenz 5,1-7,2 MHz, mit einer Sendeleistung von 100%, einem Mechanical Index von 0,4-0,9, einer Zeilendichte von 3, eine Gesamtverstärkung von 6-30 dB und einer Bildaufbaurrate von 26-50 Bilder/sec. Bei HI lag die Basisfrequenz zwischen 3,0-4,0 MHz, mit einer Sendeleistung von 63% bzw. 100%, einem Mechanical Index von 0,6-1,3, einer Zeilendichte von 4, eine Gesamtverstärkung von 4-30 dB und einer Bildaufbaurrate von 11-16 Bildern/sec. Die Parameter wurden jedes Mal so gewählt, dass für die jeweilige Modalität das optimale Bild dokumentiert werden konnte. Die Bilder wurden gespeichert und danach auf Laserfilmen ausgedruckt und bewertet. Der Darm wurde gezielt untersucht. Soweit möglich wurde an jedem Quadranten, ansonsten an vier unterschiedlichen Stellen ein gleicher Bildausschnitt sowohl in FI als auch in HI sonographisch festgehalten. Per Knopfdruck konnte bequem zwischen beiden Modalitäten gewählt werden, so dass es möglich war, nahezu den identischen Darmabschnitt in beiden Modi darzustellen. Waren Lymphknoten oder freie abdominelle Flüssigkeit vorhanden, wurde in gleicher Weise ein Bildpaar in HI und FI erstellt.

2.4 Bildanalyse

Die Ultraschallbilder wurden gemeinsam mit einem erfahrenen Kinderradiologen bewertet. Es wurden Schablonen benutzt, die ein Erkennen der Bildmodalität (FI oder THI) nicht ermöglichten. Sämtliche Bildpaare hatten eine zufällige Reihenfolge. Die Reihenfolge war auch bei der Beurteilung nicht bekannt. Die Bewertungen wurden in einen für die Studie entwickelten standardisierten Auswertungsbogen eingetragen, der im Anhang zu finden ist.

Zunächst wurden erkennbare Darmpathologien (Darmdilatation oder Wandverdickung) und deren Ausmaß (1=gering bis 4=massiv) notiert. Beim Darm wurden nacheinander die Aufnahmequalität der Darmwand und des Darmlumens sowie die allgemeine Bildqualität bewertet. Dabei wurde ein subjektives Score-System mit einer Skala von 1 (sehr schlecht) bis 10 (sehr gut) verwendet. Bei der Wand des Darms wurden die allgemeine Darstellbarkeit und die Abgrenzbarkeit von Lumen und Umgebung beurteilt. Beim Lumen des Darms ging es um die Differenzierbarkeit des Inhalts. Die Bildqualität bezog sich auf das gesamte Bild, insbesondere die den Darm umgebenden Strukturen, deren Darstellbarkeit und Differenzierbarkeit.

Abschließend wurde dokumentiert, ob zusätzlich freie abdominelle Flüssigkeit oder Lymphknoten abgebildet sind. Freie abdominelle Flüssigkeit präsentiert sich echofrei, Lymphknoten stellen sich als rundlich bis ovale echoarme Strukturen dar. Falls vorhanden, fand eine Beurteilung der Bildqualität anhand einer Skala von 1 (sehr schlecht) bis 10 (sehr gut) statt.

Die notwendigen Daten der Patienten wurden aus den Akten entnommen und eingetragen. Aus Größe und Gewicht wurde der Body-Mass-Index (BMI) berechnet.

2.5 Statistische Methoden

Die gesammelten Daten wurden in einer Excel-Tabelle (Microsoft Excel 2000) eingetragen und mittels SPSS (statistical package for the social science) Version 11.0 für Windows ausgewertet.

Da es sich bei jedem Patienten um mehrere Darmanschnitte handelt, musste zunächst pro Patient und Methode (THI oder FI) der Mittelwert ausgerechnet werden. Ein t-Test für verbundene Stichproben wurde durchgeführt. Der t-Test trifft eine Aussage darüber, ob bei THI gegenüber der fundamentalen Bildgebung ein Unterschied eintritt. In diesem Zusammenhang fällt der Begriff Effektstärke (ES, effect size). Die ES berechnet sich aus Mittelwert und Standardabweichung der zu vergleichenden Methoden und ist ein Maß für die Bedeutsamkeit eines Effekts. Sie ist dafür besser geeignet als die Signifikanz, da letztere wesentlich von der Stichprobengröße beeinflusst wird.

Des Weiteren muss berücksichtigt werden, dass es sich bei den zusammengetragenen Daten nicht um kontinuierliche Werte handelt, sondern eine Score-Skala von 1-10 verwendet wird. Somit kann nicht von einer Normalverteilung der Daten ausgegangen werden. Es wurden daher nichtparametrische Methoden angewendet. Zum einen wird der Wilcoxon Signed Ranks Test (Wilcoxon-Vorzeichenrangtest) und der Sign Test (Vorzeichentest) verwendet. Dabei wird mit einem positiven Vorzeichen (+1) belegt, wenn THI der fundamentalen Bildgebung überlegen ist. Mit negativen Vorzeichen (-1), wenn THI schlechter als die fundamentale Bildgebung ist und mit gleich (0), wenn beide Methoden denselben Wert liefern. Der Wilcoxon-Vorzeichenrangtest berücksichtigt die Vorzeichen sowie den Betrag der Differenzen. Beim Vorzeichentest wird die Häufigkeit eines Vorzeichens mit der Binomialverteilung verglichen. Als Ziel steht die Überprüfung der Hypothese, dass THI der fundamentalen Bildgebung überlegen ist.

Als weiteres nichtparametrisches Verfahren wurde der Spearmans Rho verwendet. Er ist ein Assoziations- oder Zusammenhangsmaß, bei dem die Ränge zweier stetiger Variablen betrachtet werden. Mit der Spearmans correlation wurde z.B. die Korrelation zwischen der Darstellung des Darms einerseits und einzelner Parameter wie Alter, Geschlecht und Body-Mass-Index berechnet. Die Betrachtung erfolgte unabhängig von der verwendeten Methode (THI oder fundamental) und kann keine Aussage darüber treffen, welche der beiden Methoden besser ist.

3 Ergebnisse

In die vorliegende Studie wurden 90 Kinder, 44 Jungen und 46 Mädchen, einbezogen. Das durchschnittliche Alter war 8,7 Jahre (1 Monat bis 17,9 Jahre), wobei der Durchschnitt bei den Jungen bei 9 und bei den Mädchen bei 8,5 Jahren lag. Der BMI war durchschnittlich 17,4 kg/m² (10,5 bis 52,9 kg/m²).

Bei der Darmsonographie musste bei manchen Patienten ein Bildpaar ausgeschlossen werden, da es sich um nicht exakt vergleichbare Darmanschnitte handelte. So konnten bei 17 Patienten jeweils nur drei Bildpaare verwertet werden, so dass insgesamt 343 Bildpaare hinsichtlich der Variablen Darmwand, Darmlumen und Bildqualität beurteilt wurden.

Bei 19 Patienten war der Darm auffällig. 15 Patienten hatten eine Dilatation des Darms, zwei eine Wandverdickung und zwei Patienten Dilatation und Darmwandverdickung. Die übrigen 71 Patienten hatten einen sonographisch unauffälligen Darm. Bei 14 Patienten wurden Lymphknoten detektiert und bei elf Patienten freie abdominelle Flüssigkeit. Dabei wurden 17 bzw. 16 Bildpaare erstellt und analysiert.

3.1 Vergleich von fundamentaler Bildgebung und THI in der Darmsonographie

3.1.1 Wand

Zunächst erfolgt eine deskriptive Betrachtung aller 343 Bildpaare. Dabei wird in FI am häufigsten (17,2%) ein Scorewert von 5 Punkten erreicht. Der häufigste Scorewert in THI liegt mit 13,1% bei 6 Punkten höher. Der höchste Scorewert von 10 wird in THI 12 mal (3,5%), in FI dagegen nur einmal (0,3%) erreicht. Ähnlich verhält es sich bei anderen hohen Scorewerten und umgekehrt bei niedrigen Werten (Abb. 3.1).

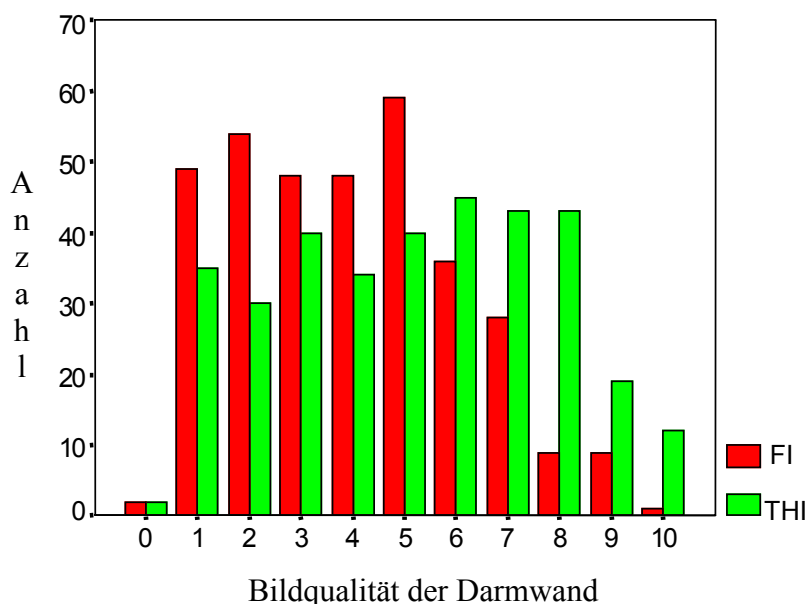


Abb. 3.1: Häufigkeitsverteilung der Scorewerte für die Bildqualität der Darmwand (score 0= gar nicht darstellbar, 1= sehr schlecht darstellbar,..., 10= sehr gut darstellbar)

Im weiteren Verlauf wird nur noch mit den Mittelwerten der 343 Bildpaare gerechnet. Denn es muss beachtet werden, dass es sich nicht um 343 Patienten handelt, sondern um 90, bei denen jeweils drei oder vier Bildpaare angefertigt wurden. Der Unterschied von intraindividuellem und interindividuellem Variabilität wird berücksichtigt. Daher erfolgt pro Patient eine Berechnung des Mittelwerts der Scorewerte sowohl für FI als auch für THI. Hieraus ergeben sich durchschnittliche Werte für die Wand in FI zwischen 1,0 und 8,5 mit einem Mittelwert von 4,0 und einer Standardabweichung von 1,8. In THI liegen die Werte mit einem Mittelwert von 5,2, einer Standardabweichung von 2,2 und Scores zwischen 1,0 und 9,8 deutlich höher als in FI (Abb. 3.7a).

Um die Bedeutsamkeit des Unterschieds zwischen THI und FI unabhängig von der Stichprobengröße abschätzen zu können, wird die Effektstärke (ES) berechnet. Man kann sagen, wenn sie eindeutig nicht gleich null ist, ist der Unterschied bedeutsam. Mit +0,58 liegt für ES ein Ergebnis vor, das nicht gleich null ist. Der Unterschied zwischen THI und FI ist somit bedeutsam. Mit $p < 0,01$ liegt eine hoch signifikante Korrelation zwischen FI und THI vor. Die Werte von FI und THI stehen miteinander in Zusammenhang. Dies bedeutet, wenn in FI hohe Scorewerte erreicht werden, sind auch

die Scorewerte in THI hoch. Zuletzt erfolgt zur Überprüfung der Hypothese, dass THI der fundamentalen Bildgebung überlegen ist, der Vorzeichentest. 81-mal wird ein positives Vorzeichen vergeben, d.h. bei 81 Patienten ist THI hinsichtlich der Darstellbarkeit der Wand der fundamentalen Bildgebung überlegen. Bei acht Patienten liefern beide Verfahren gleich häufig höhere Werte, dies wird mit dem Gleichheitszeichen belegt. Bei einem Patienten ist THI der fundamentalen Bildgebung unterlegen, d.h. in diesem Fall wurden bei den drei bzw. vier verschiedenen Darmschnitten häufiger bessere Werte in FI als in THI erzielt. Ein negatives Vorzeichen wird vergeben. Mit $p < 0,001$ konnte belegt werden, dass die Darmwand mit THI signifikant besser darstellbar ist als mit FI (Abb. 3.2).

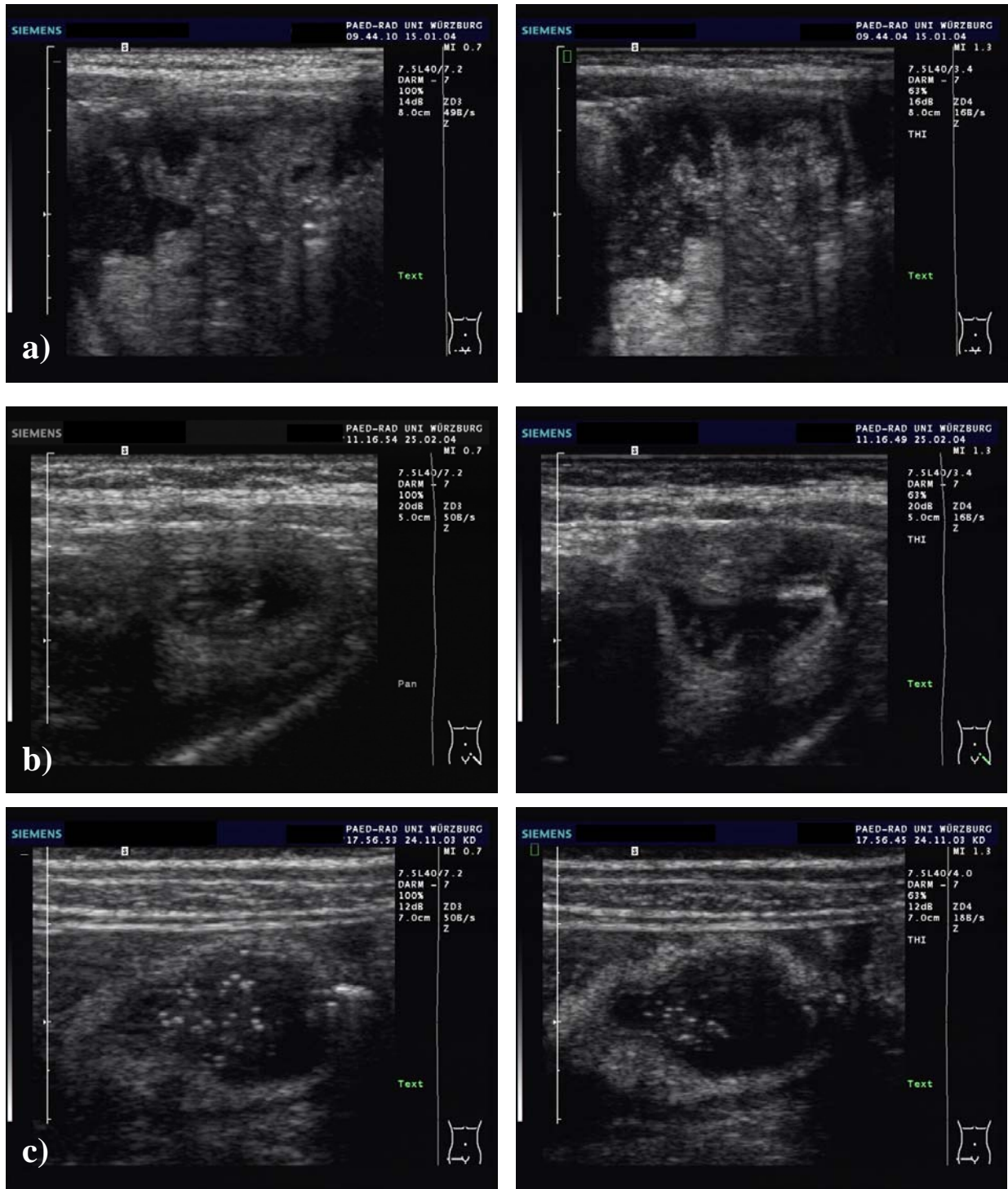


Abb. 3.2 a)-c): Bildbeispiele für die Darmwand; links in fundamentaler, rechts in harmonischer Bildgebung. Die Abbildungen a)-c) zeigen, dass die Darmwand besser in harmonischer als in fundamentaler Bildgebung darstellbar ist.

3.1.2 Lumen

Betrachtet man wiederum zunächst alle 343 Bildpaare, wird in FI mit 16,3% am häufigsten die Punktzahl 4, in THI mit 14,9% die 7 vergeben. 10 Punkte werden in FI nur einmal in THI dagegen neunmal erreicht. Als sehr schlecht darstellbar (Scorewert 1) wurde das Lumen in FI 51-mal beurteilt, in THI nur 33-mal (Abb. 3.3).

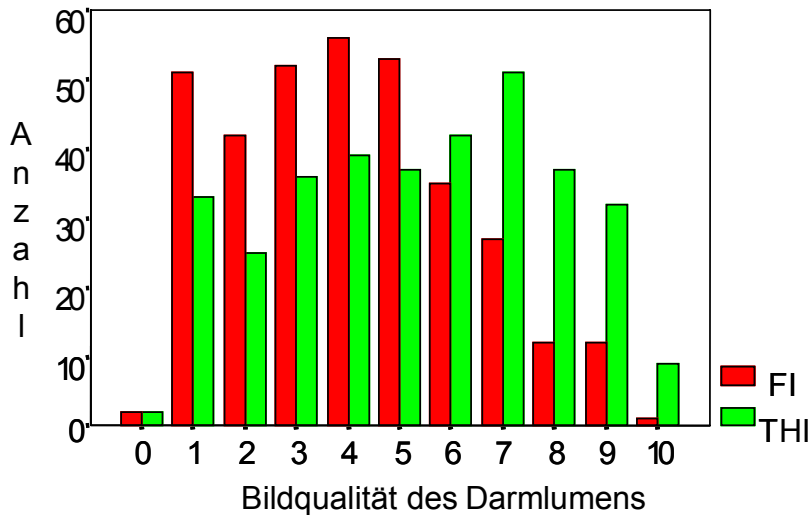


Abb. 3.3: Häufigkeitsverteilung der Scorewerte für die Bildqualität des Darmlumens (score 0= gar nicht darstellbar, 1= sehr schlecht darstellbar,..., 10= sehr gut darstellbar)

Es folgen nun die Mittelwerte der 90 Patienten. Für das Lumen in FI liegen sie zwischen 1,0 und 9,0 mit einem Mittelwert bei 4,1 und einer Standardabweichung von 1,9. In THI belaufen sich die Werte zwischen 1,0 und 9,5. Der Mittelwert ist 5,3 mit einer Standardabweichung von 2,2 (Abb. 3.7b). Die Effektstärke (ES) ist wie bei der Wand mit +0,61 wiederum eindeutig ungleich null. Ebenso liegt bei den Werten für das Lumen eine hoch signifikante Korrelation vor.

Analog zur Wand folgt die Überprüfung der Hypothese beim Lumen mittels des Vorzeichentests. Hier wurde 85-mal ein positives, zweimal ein negatives Vorzeichen und dreimal ein Gleichheitszeichen vergeben. Das bedeutet 85-mal konnte mit THI ein besseres Ergebnis geliefert werden als mit FI, dreimal war das Ergebnis gleich und zweimal schlechter als mit FI. Schließlich konnte mit $p < 0,001$ für den Parameter Lumen mit sehr hoher Signifikanz belegt werden, dass in THI häufiger höhere Score-Werte

erreicht werden als in FI. Die Darstellung des Lumens des Darms somit mit THI besser gelingt als mit der fundamentalen Bildgebung (Abb.3.4).

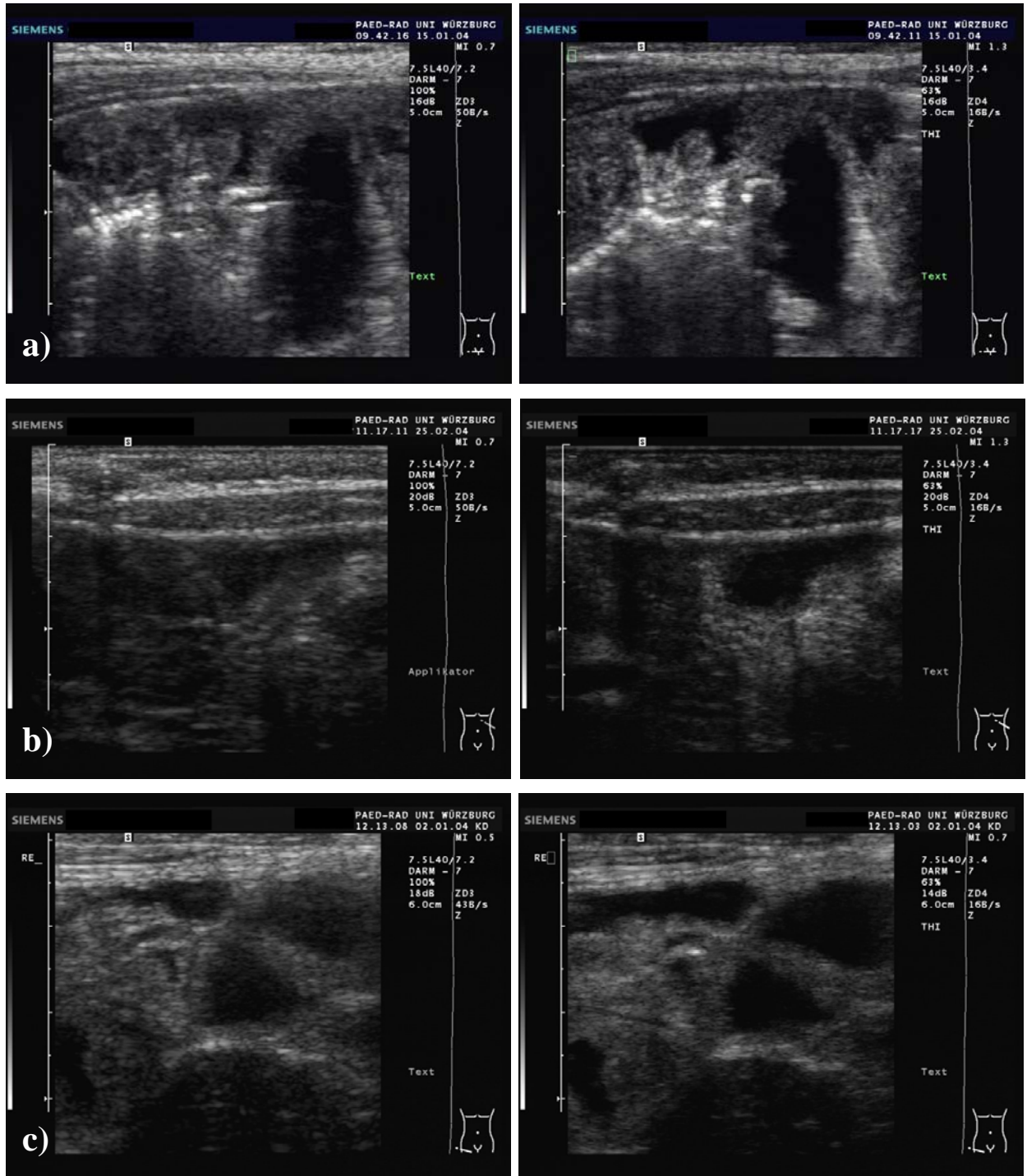


Abb. 3.4 a)-c): Bildbeispiele für das Darmlumen; links in fundamentaler, rechts in harmonischer Bildgebung. Die Abbildungen a)-c) zeigen, dass das Darmlumen besser in harmonischer als in fundamentaler Bildgebung darstellbar ist.

3.1.3 Bildqualität

Bezüglich der Bildqualität wurde bei 343 Bildpaaren am häufigsten (58 mal) in FI mit 16,9% der Scorewert 4 und in THI mit 17,5% (60 mal) der Scorewert 8 vergeben. In FI wurde die Bildqualität nie als sehr gut darstellbar (Scorewert 10) beurteilt, in THI dagegen 11mal. Scorewert 1 (sehr schlecht) wurde dagegen 20mal in FI und nur 11mal in THI vergeben (Abb. 3.5).

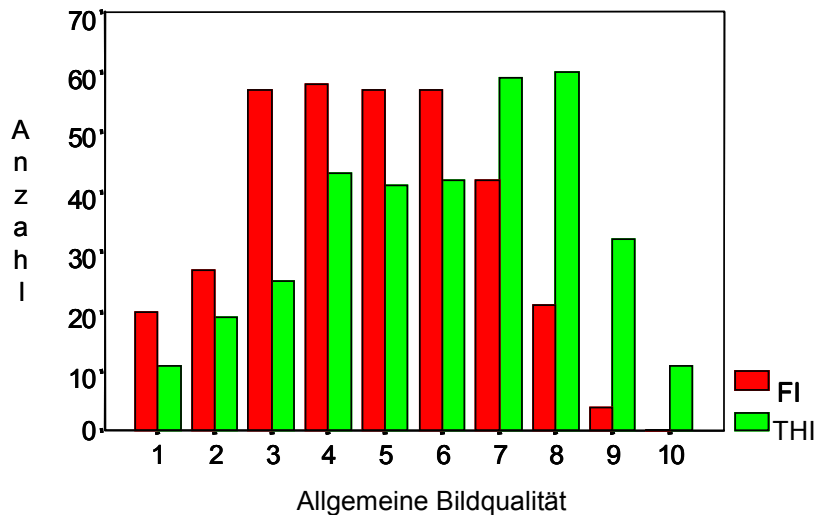


Abb. 3.5: Häufigkeitsverteilung der Scorewerte für die allgemeine Bildqualität (score 0= gar nicht darstellbar, 1= sehr schlecht darstellbar,..., 10= sehr gut darstellbar)

Die Mittelwerte liegen in fundamentaler Bildgebung zwischen 1,0 und 8,0 mit einem Mittelwert von 4,7 und einer Standardabweichung von 1,6. In THI liegen die Werte zwischen 1,0 und 9,8. Der Mittelwert liegt bei 6,0 und die Standardabweichung bei 2,0 (Abb. 3.7c). Die Effektstärke (ES) ist +0,72 und die Werte der Bildqualität korrelieren miteinander mit $p < 0,01$. Mit 85:1 positiven:negativen Vorzeichen und vier Gleichheitszeichen liegt ein sehr hoch signifikantes ($p < 0,001$) Ergebnis für die Bildqualität vor. Die allgemeine Bildqualität bei der Darmsonographie ist in THI besser als in fundamentaler Bildgebung (Abb. 3.6).

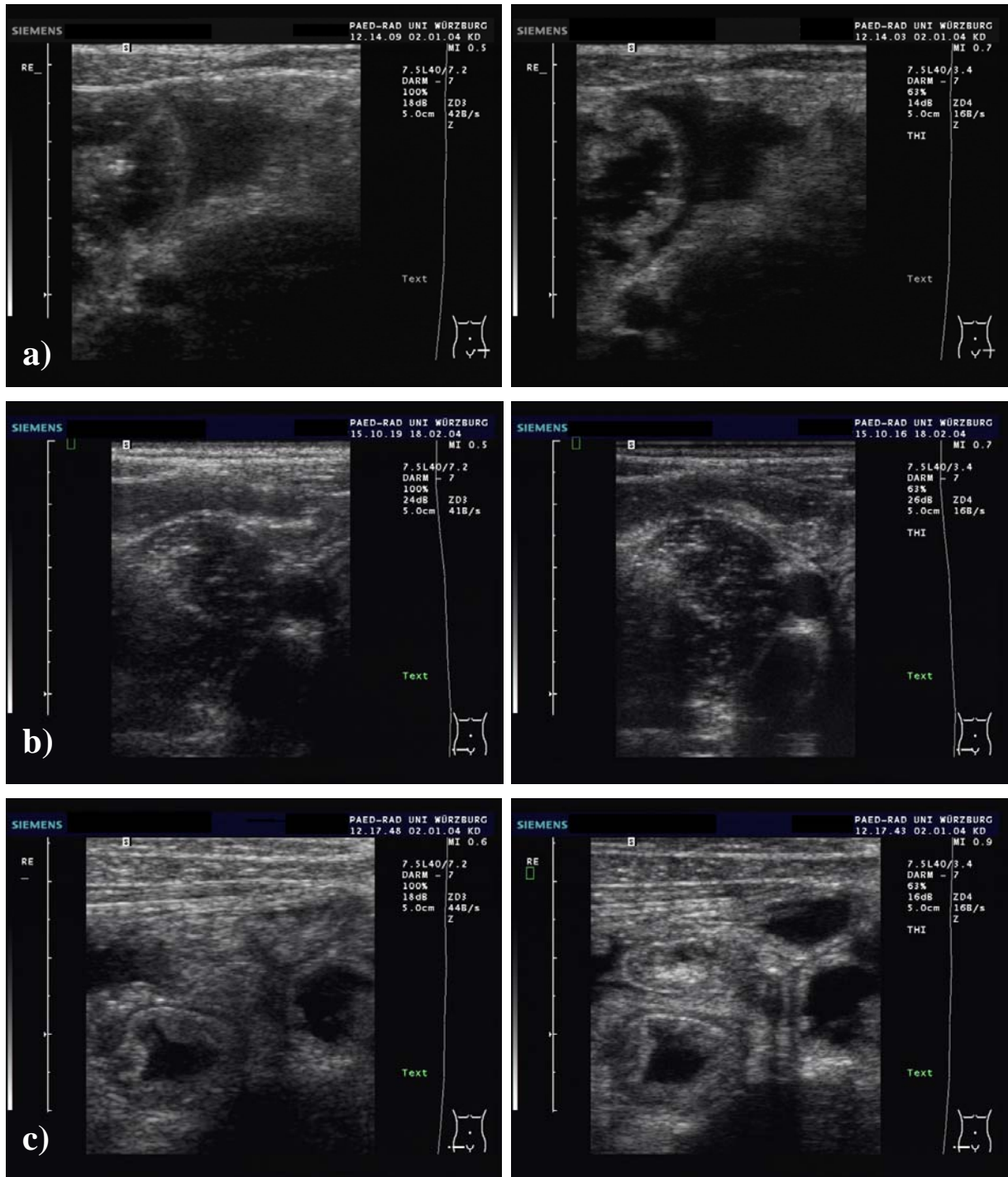


Abb. 3.6 a)-c): Bildbeispiele für die allgemeine Bildqualität; links in fundamentaler, rechts in harmonischer Bildgebung. Abbildungen a)-c) zeigen, dass die allgemeine Bildqualität besser in harmonischer als in fundamentaler Bildgebung ist.

Letztendlich konnte in allen drei Parametern die Hypothese, dass THI der fundamentalen Bildgebung überlegen ist, belegt werden. THI ist zu Darstellung der Wand und des Lumens des Darms besser geeignet. Zudem liefert es in der gesamten Bildqualität bei der Darmsonographie bessere Ergebnisse.

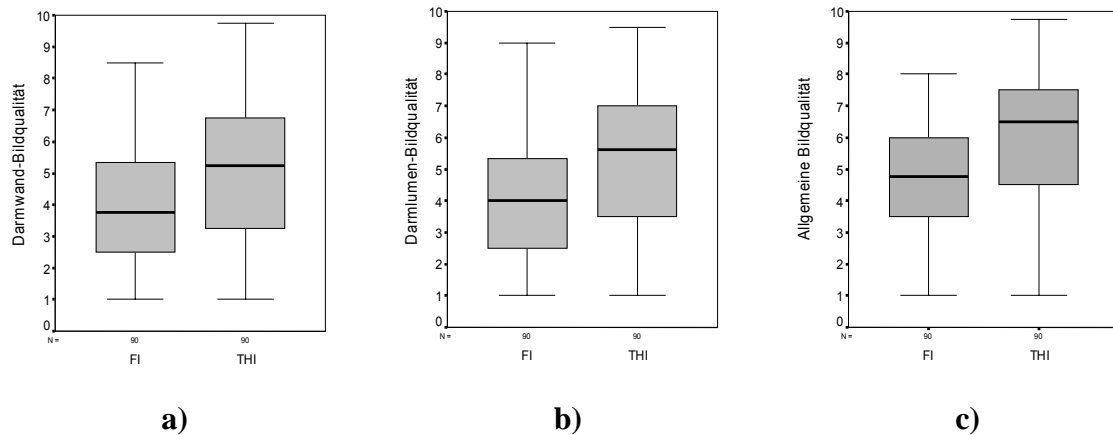


Abb. 3.7: Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Scorewerte für die Bildqualitätsbeurteilung bei den US-Aufnahmen a) der Darmwand, b) des Darmlumens und c) der allgemeinen Bildqualität in fundamental (FI) und harmonic imaging (THI).

3.2 Potentielle Einflussfaktoren in der Vergleichs-Darmsonographie

3.2.1 Geschlecht

In der Studie wurden 46 Mädchen und 44 Jungen untersucht. Um festzustellen, ob bezüglich des Geschlechts Unterschiede in der Darstellbarkeit des Darms bestehen, wurde der t-test für unverbundene Stichproben (m/w) und der Mann-Whitney U-Test verwendet. Bezüglich der Wand kam mit $p=0,030$ in FI und $p=0,035$ in HI (2-tailed) ein signifikantes Ergebnis heraus. Das bedeutet, dass bei den Jungen die Wand des Darms in beiden Bildgebungen besser darstellbar ist als bei den Mädchen. Betrachtet man hingegen das Lumen des Darms und die gesamte Bildqualität, bestehen keine geschlechtsspezifischen Unterschiede (Abb. 3.8).

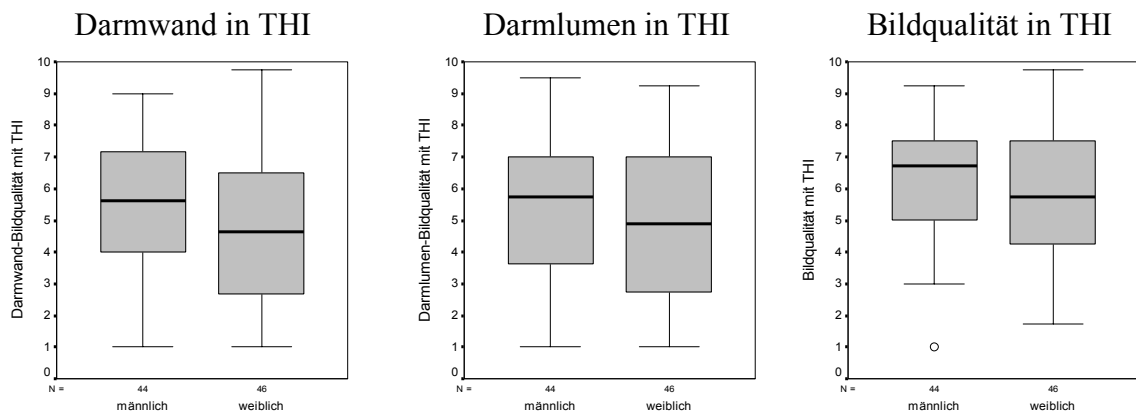


Abb. 3.8: Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Scorewerte bei den US-Aufnahmen der Darmwand, des Darmlumens und der allgemeinen Bildqualität bei den Jungen und Mädchen im Vergleich.

3.2.2 Alter

Das Alter der Patienten ist im Durchschnitt 8,7 Jahre mit einer Standardabweichung von 5,7. Die Jungen sind zwischen 2 Monate und 17,9 Jahren alt. Die Mädchen zwischen einem Monat und 17,8 Jahren. Es wurde die Spearman's correlation verwendet, um zu sehen, ob die Darstellung des Darms mit zunehmendem Alter besser wird. Dabei wurde eine signifikante Korrelation zwischen Alter und dem Lumen des Darms gefunden, sowohl wenn man das Lumen in FI als auch in THI betrachtet. D.h. das Lumen ist umso besser darstellbar je älter der Patient oder die Patientin ist. Bei den anderen Parametern Wand und allgemeine Bildqualität fand sich keine signifikante Korrelation.

3.2.3 Body Mass Index (BMI)

Bei 80 der 90 Kinder konnte der BMI aus Körpergröße und Gewicht errechnet werden. Bei zehn Kindern waren keine kompletten Angaben vorhanden. Bei 70 Kindern wurde BMI-FAP (Body mass index for age percentiles) verwendet, eine Perzentilenkurve, die im Jahre 2000 vom National Center for Health Statistics in Zusammenarbeit mit dem National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion für zwei bis 20-jährige entwickelt wurde [77, 78]. Für die Statistik wurden die BMI-Perzentilenwerte umgerechnet in die Scores der Normalverteilung. Zehn Patienten waren unter zwei Jahre und mussten von dieser Berechnung ausgeschlossen werden.

Der Mittelwert des BMI beträgt für die 80 Patienten 17,4 kg/m² mit einer Standardabweichung von 6,0. Die Werte liegen zwischen 10,5 und 52,9 kg/m². Bei den Jungen liegt der BMI bei 17,2 kg/m² mit einer Standardabweichung von 6,5 (10,5-52,9 kg/m²) und bei den Mädchen bei 17,6 kg/m² mit einer Standardabweichung von 5,6 (11,4-40,3kg/m²). Mittels der Spearman´s correlation wird nun die Korrelation zwischen dem BMI und der Darstellbarkeit des Darms (Lumen, Wand, gesamte Bildqualität) untersucht. D.h. die Frage ist, ob bei niedrigem BMI auch die Darstellbarkeit des Darms gut ist. Um das Alter der Patienten zu berücksichtigen wird der BMI-FAP verwendet. Bei der Berechnung kommt heraus, dass eine signifikante Korrelation besteht zwischen dem BMI-FAP und der Darstellbarkeit des Lumens bzw. der gesamten Bildqualität unabhängig von der gewählten Methode (THI oder FI). Das heißt zum einen, das Lumen ist umso deutlicher darstellbar je niedriger der BMI-FAP bei Kindern ist. Zum anderen ist die Qualität des Ultraschallbilds umso besser je niedriger der BMI-FAP ist. Bezüglich der Wand ist die Korrelation nur tendenziell, d.h. alles deutet darauf hin, dass die Wand ebenso bei niedrigem BMI-FAP besser darstellbar sein könnte. Ob mit THI oder FI eine bessere Darstellung bei hohem BMI gelingt, wird in unserer Studie nicht weiter untersucht.

3.3 Zusammenhang der Darstellbarkeit des Darms mit Darmpathologien

Als nächstes interessierte uns der Aspekt, ob bei einem Patienten mit Darmpathologien eine bessere Darstellung des Darms, hinsichtlich der Parameter Wand, Lumen und Bildqualität gelingt. Zur Beurteilung der 85 Aufnahmen verwendeten wir wieder die Spearman´s correlation. Wie die Tabelle (Abb. 3.9) zeigt, ist es durchaus so, dass der Darm besser dargestellt werden kann, wenn Pathologien wie Darmwandverdickung oder Dilatation vorliegen. Eine positive Korrelation liegt vor. Dabei ist der Darm sowohl in THI als auch in fundamentaler Bildgebung besser darstellbar. Die Scorewerte der Darstellbarkeit des Darms (1=sehr schlecht, 10=sehr gut) sind umso höher, desto stärker die Darmpathologie ist. Diese Beobachtungen sollten anhand einer größeren Stichprobenzahl verifiziert werden, da in dieser Studie nur bei vier Patienten eine Darmwandverdickung und bei 17 eine Dilatation des Darms beobachtet wurde.

	n	Wand in F	Lumen in F	Bildqualität in F	Wand in THI	Lumen in THI	Bildqualität in THI
Dilatation	85	0,37	0,47	0,50	0,40	0,44	0,50
Darmwandverdickung	85	0,34	0,31	0,32	0,34	0,33	0,33

Correlation is significant $p < 0,01$ level (2-tailed)

n = Anzahl der Aufnahmen

Abb. 3.9: Korrelation zwischen Darmpathologien und der Darstellbarkeit des Darms (Wand, Lumen, Gesamtbildqualität)

3.4 Vergleich von fundamentaler Bildgebung und THI bei der Darstellbarkeit von mesenterialen Lymphknoten

Bei 14 der 90 Patienten konnten nebenbefundlich Lymphknoten dargestellt werden. Nur bei zwei der 14 Kinder zeigten sich zusätzlich Darmpathologien, einmal eine Darmwandverdickung und einmal eine Dilatation. Die Hälfte der Kinder hatten Leitsymptome von gastrointestinalen Erkrankungen wie Bauchschmerzen (3), Durchfall (1), Blut im Stuhl (1) oder Erbrechen (2). Bei drei Kindern war eine chronisch entzündliche Darmerkrankung (CED) bekannt. Bei den 14 Kindern wurden ein bis zwei Bildpaare in fundamentaler Bildgebung und THI festgehalten, zu einem späteren Zeitpunkt analog der Studie zur Darmsonographie verglichen und mit denselben statistischen Methoden ausgewertet. Scorepunkte von 1 (=sehr schlecht) bis 10 (=sehr gut) wurden vergeben.

Insgesamt konnten 17 Bildpaare bewertet werden. Mit FI wird dabei mit 29,4% am häufigsten der Scorewert 7, mit THI mit 41,2% der Scorewert 9 erreicht. In FI wurden nie die höchsten Scorewerte 9 oder 10 vergeben, in THI dagegen fünfmal die 10 und siebenmal die 9. In THI wurden keinmal schlechtere Scorewerte als 7 vergeben. In FI dagegen einmal 1, einmal 2, viermal die 5 und zweimal die 6. Es zeigt sich eine Überlegenheit von THI (Abb. 3.10).

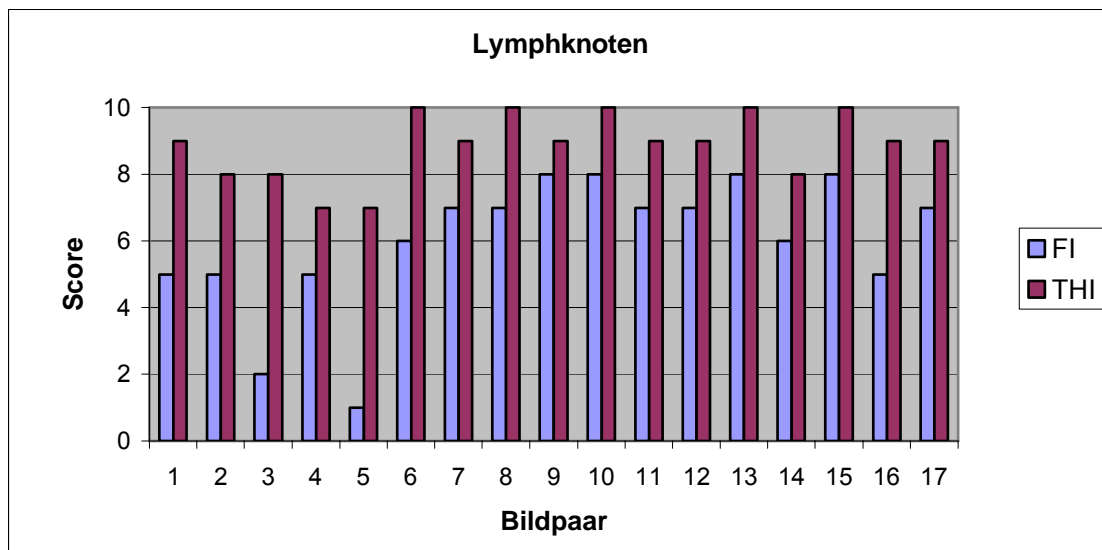


Abb. 3.10: Verteilung der Scorewerte für die Darstellbarkeit der mesenterialen Lymphknoten bei allen 17 Paar Bildaufnahmen

Als nächstes werden nur die 14 Patienten betrachtet und es wird mit Mittelwerten gerechnet. In der fundamentalen Bildgebung wurde so insgesamt für die 14 Patienten ein Mittelwert von 6,1 mit einer Standardabweichung von 1,9 (die Werte liegen zwischen 2 und 8 Punkten) errechnet. In THI liegen die Werte zwischen 7 und 10, der Mittelwert bei 9,0 und die Standardabweichung bei 0,9 (Abb. 3.11). Die Werte für FI korrelieren mit THI mit $p=0,002$. Im Vorzeichentest wurde 14mal ein positives Vorzeichen vergeben, d.h. bei allen 14 Patienten war THI der fundamentalen Bildgebung überlegen. Trotz der kleineren Stichprobenzahl liegt auch in diesem Fall mit $p<0,001$ ein signifikantes Ergebnis vor. Die LK sind in THI besser darstellbar als in FI (Abb. 3.12).

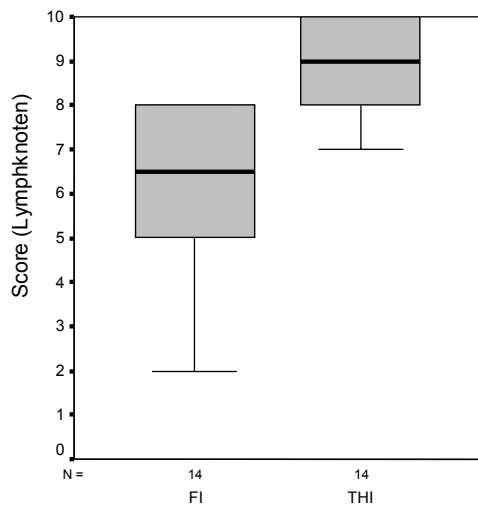


Abb. 3.11: Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen des Score für die Darstellbarkeit von mesenterialen Lymphknoten in FI (fundamental) und HI (harmonic imaging)

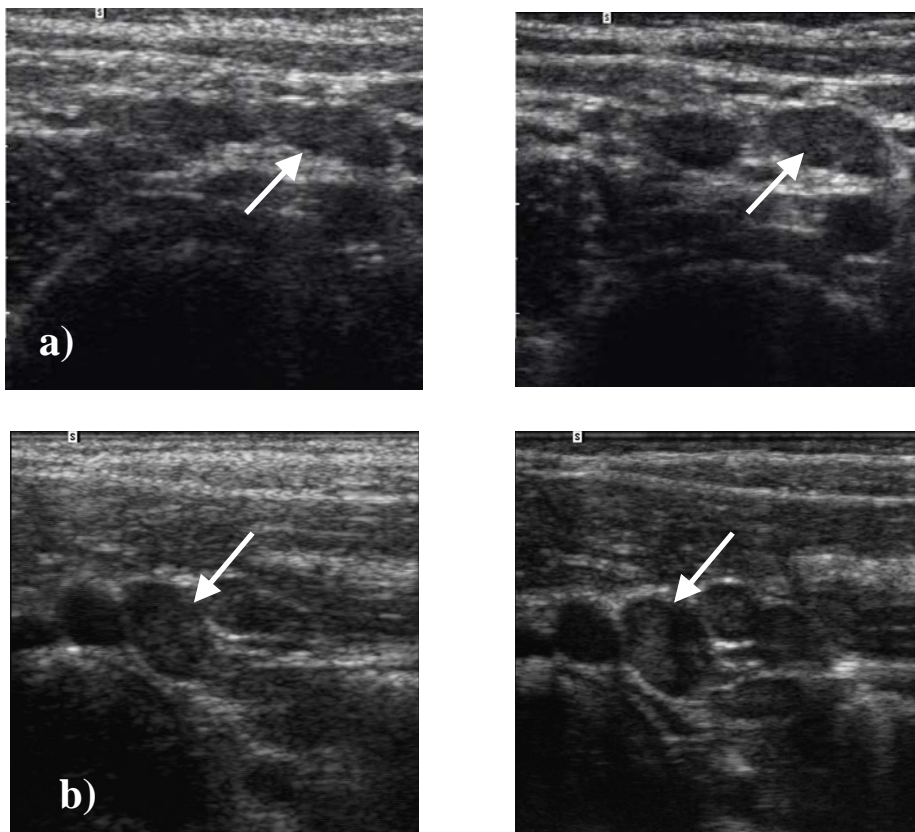


Abb. 3.12 a)-b): Darstellung mesenterialer LK in fundamental (links) und harmonic (rechts) imaging. LK (mit Pfeil markiert) sind deutlich besser in HI zu erkennen.

3.5 Vergleich von fundamentaler Bildgebung und THI bei freier abdomineller Flüssigkeit

Bei elf der 90 Patienten wurde freie abdominelle Flüssigkeit (FAF) gefunden. Bei sechs von den Kindern waren Darmpathologien zu sehen (4x Dilatation, 1x Wandverdickung, 1x Dilatation+Darmwandverdickung). Von den Kindern mit FAF litten vier an Bauchschmerzen und eines an Erbrechen. Bei zwei Kindern war ein M. Crohn bekannt.

Insgesamt 16 Bildpaare wurden erstellt und bewertet (bei fünf Patienten gab es zwei Bildpaare). Mit 43,8% (7 mal) wurde in FI der Scorewert 7 am meisten vergeben, in THI mit 37,5% (6 mal) der höchste Scorewert 10. In FI wurde der Scorewert 10 dagegen nur einmal vergeben. In THI wurde keinmal ein schlechterer Wert als 7 vergeben, in FI dagegen fünfmal. Wieder zeigt sich eine Überlegenheit von THI (Abb. 3.13).

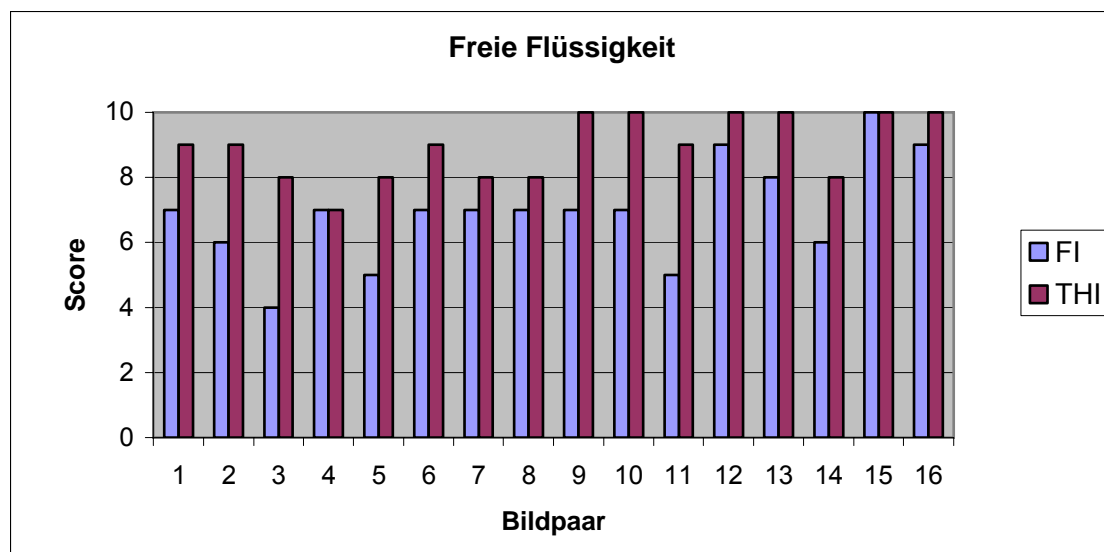


Abb. 3.13: Verteilung der Scorewerte für die Darstellbarkeit von FAF bei 16 Paar Bildaufnahmen in fundamental (FI) und harmonic imaging (HI)

Betrachtet man nur die eigentliche Stichprobengröße von elf Patienten und arbeitet mit Mittelwerten bleibt es dabei, dass in FI am häufigsten der Scorewert 7 (mit 45,5%), in THI dagegen mit jeweils 27,3% 8 bzw. 9 als Scorewert am meisten vergeben wurde.

Der Mittelwert liegt für FI bei 6,8 mit einer Standardabweichung von 1,4 (Werte von 5,0 bis 9,5), für THI bei 8,7 mit 0,9 Standardabweichung (Werte von 7 bis 10) (Abb. 3.14).

Die Werte bei freier abdomineller Flüssigkeit in FI und THI korrelieren im Gegensatz zu den anderen Parametern (Wand, Lumen, Bildqualität und Lymphknoten) nicht miteinander.

Im Vorzeichentest wurde zehnmal ein positives Vorzeichen vergeben und einmal ein Gleichheitszeichen. Die hier aufgestellte Hypothese, dass THI der fundamentalen Bildgebung bei der Darstellung von freier Flüssigkeit überlegen ist, konnte belegt werden ($p=0,001$) (Abb. 3.15).

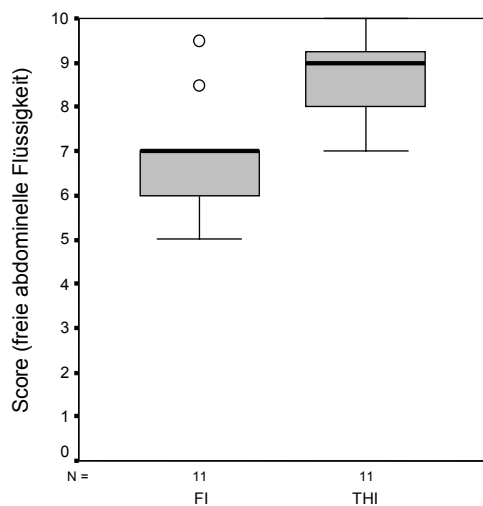


Abb. 3.14: Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen des Score für die Darstellbarkeit von freier abdomineller Flüssigkeit in FI (fundamental) und HI (harmonic imaging)

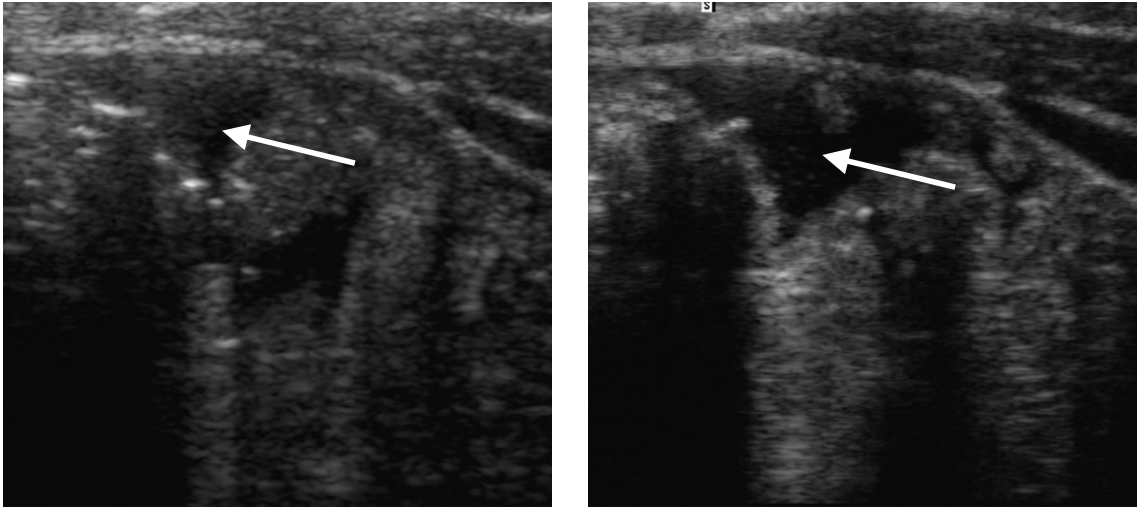


Abb. 3.15: Darstellung freier abdomineller Flüssigkeit (FAF) in fundamental (links) und harmonic imaging (rechts). FAF (durch Pfeil gekennzeichnet) ist deutlich besser in HI zu erkennen.

4 Diskussion

Harmonic Imaging wurde bisher hauptsächlich im Rahmen der Erwachsenenmedizin angewendet und untersucht. Über Nutzen und mögliche Anwendungsgebiete bei Kindern liegen nur wenige Studienergebnisse vor. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde deswegen eine prospektive Studie durchgeführt, um einen systematischen Vergleich zwischen fundamentaler und harmonischer Bildgebung bei der Darmsonographie von Kindern zu erhalten.

Bei der fundamentalen Bildgebung sendet der Schallkopf eine bestimmte Frequenz. Dieselbe wird vom Gewebe reflektiert, so dass der Schallkopf wiederum die gleiche Frequenz empfängt. Diese Frequenz wird als Grund- oder fundamentale Frequenz bezeichnet. Dabei dringt der US umso weiter in das Gewebe ein, desto geringer die Frequenz ist. Hierbei sinkt allerdings das räumliche Auflösungsvermögen. Umgekehrt sind hohe Frequenzen besonders für die bauchwandnahe Sonographie geeignet. Die Einsatzfähigkeit von hochfrequentem US für die Untersuchung bei rechtsseitigem Unterbauchschmerz wurde untersucht und hat sich als sehr nützlich für die Diagnose der Appendizitis herausgestellt [79].

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich neben der fundamentalen Bildgebung vor allem mit der harmonischen Bildgebung, dem Harmonic Imaging (HI). „HI wurde ursprünglich entwickelt, um mit Hilfe von echoverstärkenden Kontrastmitteln...“ die Blutflußdetektion in kleinen Gefäßen, besonders in bewegtem Gewebe (Herz, Leber in der Nähe des Diaphragmas) „...bei Farb- und Power-Doppler-Anwendungen...“ zu verbessern [80, 81]. In der klinischen Praxis eingesetzt fiel bald auf, dass auch ohne Kontrastmittel sehr klare Bilder mittels HI erhalten werden. Weitere Untersuchungen belegten, dass nicht nur Kontrastmittel, sondern auch Gewebe harmonische Schwingungen erzeugt. Harmonic Imaging für Gewebe wurde 1998 eingeführt und findet seitdem breite Anwendung in der Medizin [81].

Die Echosignale von Strukturen des Körpers bestehen nicht nur aus der fundamentalen Frequenz des Sendeimpulses, sondern auch aus der harmonischen Frequenz, dem

Zweifachen (second harmonic imaging) oder ganzzahligem Vielfachen (wide-band harmonic imaging) der Sendefrequenz [81]. Die Technik von Harmonic Imaging nutzt das Phänomen der Bildung von harmonischen Schwingungen aufgrund der nicht linearen Schallausbreitung aus. „Im Gewebe breitet sich die komprimierende Phase der Wellenfront schneller aus als die dekomprimierende“. Dies führt „...zu einer zunehmenden Distorsion der Wellenform und dadurch Bildung harmonischer Schwingungen“ [3]. Dadurch, dass die harmonische Frequenz im Gegensatz zur fundamentalen Frequenz nicht am Schallkopf sondern im Gewebe entsteht, sind die harmonischen Signale auf Hautniveau praktisch null. Bei zunehmender Eindringtiefe wird die Intensität immer stärker bis zu einem bestimmten Punkt in der Tiefe, an dem das Gewebe die Schwingung dämpft und somit einen Rückgang der harmonischen Schwingung bewirkt. HI erreicht somit ihre größte Wirkung in mittlerer bis höherer Tiefe. Die fundamentale Frequenz dagegen ist auf Hautniveau am stärksten und wird linear mit der Eindringtiefe abgeschwächt. In jeder Tiefe bleibt jedoch die Intensität von fundamentaler Frequenz höher als die von harmonischer [2, 81, 82].

Da aus dem Körpergewebe neben der Bildung von harmonischen Frequenzen auch die fundamentale Frequenz reflektiert wird, muss das Ultraschallgerät die fundamentalen von harmonischen Schwingungen trennen. Denn die fundamentale Frequenz würde aufgrund ihrer höheren Intensität die schwächeren Signale der harmonischen Frequenz überdecken, was wiederum die Bildqualität verschlechtern würde. Für die Trennung existieren zwei Methoden. Entweder wird mit einem Filter gearbeitet, der die doppelten Sendefrequenzen aus dem Empfangssignal herausfiltert (second harmonic imaging, SHI). Die andere und neuere Methode ist die Phasen- oder Pulsinversionstechnik (pulse/phase inversion harmonic imaging, PIHI). Bei dieser Technik werden zwei Impulse nacheinander um 180° phasenverschoben ausgesendet und die rückkehrenden Echos addiert. Dabei heben sich die linearen Echos gegenseitig auf, während dies bei den nichtlinearen Echos nicht passiert. Die linearen fundamentalen Echos werden also ausgelöscht. Zusätzlich werden die harmonischen Echos bei dieser Technik verstärkt. Der Vorteil ist demnach, dass die Intensität des harmonischen Signals erhöht wird, nachteilig dagegen ist die verlängerte zeitliche Auflösung [81-84].

4.1 Geschlecht

Mit 46 Mädchen und 44 Jungen haben wir im Bezug auf die Geschlechterverteilung ein sehr ausgeglichenes Patientengut. Bei der statistischen Analyse fiel auf, dass bei der Sonographie des Darms bei den Jungen die Wand in beiden Modalitäten signifikant besser darstellbar ist. Lediglich bei Wandverdickungen wurde in manchen Studien nach einer Korrelation mit dem Geschlecht gefahndet, aber kein geschlechtsspezifischer Zusammenhang gefunden [71]. Bei dem Darmlumen und der gesamten Bildqualität besteht in unserer Studie hingegen kein geschlechtsspezifischer Unterschied. Des Weiteren war in unserer Studie der BMI bei den Jungen und Mädchen beinahe gleich. Daher kann man sich die Beobachtung nicht dadurch erklären, dass Jungen einen geringeren Anteil an Körperfett, was zu weniger Artefaktbildung führen würde, haben. Am ehesten ist daher dieser Befund durch die kleine Fallzahl bedingt.

4.2 Alter

Bei älteren Kindern war das Darmlumen unabhängig von der verwendeten Methode besser darstellbar. Über mögliche Ursachen dieser Beobachtung lässt sich nur spekulieren. Es könnte daran liegen, dass ältere Kinder größer sind und somit Organe, der Darm und sein Lumen größer dargestellt und dadurch besser analysierbar sind. Eine weitere mögliche Erklärung wäre, dass Jugendliche eine andere Ernährung und Verdauung als Kleinkinder haben, was zu einer anderen Zusammensetzung des Darminhalts führt und dadurch das Lumen besser darstellbar, der Inhalt besser differenzierbar ist.

4.3 BMI

Die Perzentilenkurve ist ab einem Alter von zwei Jahren anwendbar. In unserem Kollektiv lagen fünf Mädchen (14,2%) und neun Jungen (25,7%) unter der 3. Perzentile. Somit ist unsere Patientengruppe in diesem Aspekt nicht repräsentativ, da unter der 3. Perzentile weniger als 3% aller Kinder liegen sollten. Insgesamt lagen 21 Kinder (30%) unter der 10. und neun (12,86%) über der 85. Perzentile. Benutzte man die Einteilung von Hörmann et al. (siehe unten) [85] sind somit in unserem Kollektiv 30% der Kinder untergewichtig, 57,14% normalgewichtig und 12,86% übergewichtig.

Unsere Studie zeigt mit Signifikanz, je niedriger der BMI-FAP der Kinder ist, umso deutlicher ist die Darstellbarkeit des Lumen, umso besser die Qualität des Ultraschallbilds. Dieses Ergebnis deckt sich mit unseren Erwartungen und findet seine Bestätigung in anderen Studien. Bei der Detektion der Appendix ist Fettleibigkeit sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern ein limitierender Faktor [85, 86]. Hörmann et al. teilte 126 Kinder mit Verdacht auf akute Appendizitis anhand des BMI-FAP in drei Gewichtsklassen ein (untergewichtig, normalgewichtig, übergewichtig) und führte eine statistische Analyse zur Detektion der Appendix durch. Dabei war die Appendix mit 75% bei den untergewichtigen Patienten am besten und mit nur 21% bei den Übergewichtigen am schlechtesten aufzufinden. Die Normalgewichtigen lagen mit 67% Detektionsrate in der Mitte. Der Unterschied zwischen den drei Gruppen war statistisch signifikant. Betrachtet man dagegen nur den BMI kommt es zu keinem signifikanten Unterschied [85]. Wiersma et al. berichtet ebenfalls, dass bei übergewichtigen Kindern die Appendix schwerer zu detektieren ist. Zu einem statistisch signifikanten Ergebnis kam es jedoch nicht. Allerdings wurde nur der BMI und nicht der BMI-FAP verwendet [55].

Vielfach ist berichtet worden, dass sich die harmonische Bildgebung insbesondere bei übergewichtigen Patienten als hilfreich erweist [4, 5, 33, 39, 41, 82, 84, 87, 88]. Dies wird dadurch erklärt, dass die für die Bilderzeugung verwendeten harmonischen Frequenzen hauptsächlich erst in der Tiefe des Gewebes gebildet werden. Dadurch trägt die Körperoberfläche, deren Zusammensetzung (Fettmenge, Hautdicke, Flüssigkeitsgehalt) die Hauptquelle für Bildrauschen und andere Störsignale ist [2], nicht viel zu der Generierung von harmonischen Schallwellen bei. Die Streuung und Artefaktbildung mit HI sind somit vermindert. Deswegen macht sich eine Verbesserung durch HI vor allem bei übergewichtigen und technisch schwer zu schallenden Patienten bemerkbar. Eine Studie zur Bauchwandsonographie zeigt, dass sich THI in Kombination mit Panorama-Ultraschall als besonders vorteilhaft bei adipösen Patienten erweist. Mit steigender Dicke der subkutanen Fettschicht war THI der fundamentalen Bildgebung zunehmend überlegen [87]. In einer anderen Studie war bei Patienten mit einem BMI von mindestens 30kg/m² bei der Abdomensonographie die Darstellung von

pathologischen Veränderungen sowie die Sicherheit in die gestellte Diagnose mit HI deutlich besser [5]. Bei übergewichtigen Patientinnen mit polyzystisches Ovarialsyndrom (POCS) war PIHI ebenfalls signifikant von Vorteil gegenüber FI [33]. Es gibt aber auch Studien, die diese Beobachtung nicht teilen können [18, 22, 41, 89]. Bei der Sonographie der Leber konnte keine Korrelation einer verbesserten Bildqualität mit THI und dem BMI bei Erwachsenen gefunden werden [89]. Ebenso konnte bei der Sonographie des Pankreas und der Niere keine signifikanter Unterschied zwischen BMI und Bildqualität mit PIHI gefunden werden, auch wenn subjektiv der Eindruck bestand, dass PIHI in einigen fettleibigen Patienten bis zu einem bestimmten BMI substantielle Vorteile bietet [18, 22]. In einer Studie mit Kindern, bei der die Darstellung des Harntrakts mit HI untersucht wurde, konnte ebenso kein signifikanter Einfluss des Körpergewichts auf die Visualisierung der Organe festgestellt werden [41]. Somit konnte die insbesondere in Zusammenhang mit der Einführung von HI wiederholte Angabe, dass die Methode nur für adipöse Erwachsene geeignet ist, nicht standhalten [81].

4.4 Vorteile von *Tissue Harmonic Imaging (THI)*

Mit „Ensemble™ Tissue Harmonic Imaging“, das in unserer Studie verwendet wurde und auf der Phaseninversionstechnik basiert, erscheinen die Bilder „klarer und schärfer, mit weniger Rauschen und einer höheren Kontrastauflösung“ im Vergleich zu FI [81].

Harmonische Schwingungen entstehen hauptsächlich im Hauptteil des ausgesendeten Strahls, dem Teil mit der höchsten Intensität. Somit bilden die schwachen Komponenten des ausgesendeten Pulses (Reverberationen und Nebenkeulen), die bei der fundamentalen Bildgebung die Hauptursachen für Artefaktbildung sind, nur wenig harmonische Signale [7, 82, 90]. Die Artefaktbildung in HI ist somit vermindert. Dies führt dazu, dass Gewebe heller und flüssigkeitsgefüllte Strukturen echofreier erscheinen [29, 91]. Dadurch kommt es zu einer deutlich besseren Darstellung von flüssigkeitsgefüllten Strukturen wie Zysten, Gallenblase und Gefäße, welche am anfälligsten für Nebenkeulen-Artefakte sind [12]. Daraus leiten wir zum einen unsere Erwartung ab, dass mittels HI freie abdominelle Flüssigkeit besser darstellbar ist, zum anderen, dass das Lumen des Darms, das zum Teil ebenso mit Flüssigkeit gefüllt ist,

besser sichtbar und differenzierbar ist. Aufgrund des besseren Kontrasts ist eine bessere Abgrenzung von Wand und Lumen des Darms sowie der Umgebung des Darms zu erwarten.

Ein weiterer Vorteil von HI liegt in der verbesserten Ortsauflösung. Die Verbesserung der lateralen Auflösung ist durch den engeren Strahl in HI bedingt, was zu einer leichteren Analyse von kleinen anatomischen Strukturen und Details führt. Die axiale Auflösung ist in HI besser, da die Wellenlänge des rückkehrenden harmonischen Signals im Vergleich zum fundamentalen niedriger ist [7, 82, 91]. All diese theoretischen Vorteile von HI machen sich in einer verbesserten Bildqualität bemerkbar. Zu diesem Ergebnis kommen viele Studien bei Erwachsenen. Beim Ultraschall des Abdomens [7, 8, 87], der Leber [12, 89, 92], des Pankreas [4, 18, 91], der Niere [22], des Herzens [26, 93], der Gefäße [30] und der Brust [34, 36] ist die Bildqualität mit HI gegenüber FI verbessert.

HI erreicht sein optimales Wirkungsspektrum in mittlerer bis höherer Tiefe. Obwohl ab einer Tiefe von 12-14 cm die Schallintensität bei HI deutlich nachlässt [83], ist die Visualisierung von tief gelegenen Strukturen mit HI gegenüber FI Studien zufolge häufig verbessert. Ohne einen Detailverlust erhält man ein klareres Bild in der Tiefe mit signifikant weniger Kompromissen im Bezug auf die Bildqualität bei sonst zu benutzender niedriger Frequenzen [82]. Wie die Studien über die Anwendung von HI bei der Sonographie der Brust, oberflächlich gelegenen Gefäßen und der Schilddrüse zeigen, ist HI aber nicht nur in der Tiefe sondern auch bei oberflächlich gelegenen Strukturen von Vorteil. Deswegen ist zu erwarten, dass auch bei Kindern, die einen geringeren Körperdurchmesser als Erwachsene haben und somit weniger von der tiefenabhängigen Verbesserung mit THI profitieren, eine bessere Darstellung von Organen möglich ist. In einigen Anwendungsgebieten bei Kindern (Harntrakt, Echokardiographie, Lymphknotendarstellung) [41-48] hat sich HI mit und ohne Verwendung von Kontrastmittel bereits bewährt.

4.5 Darmsonographie

Die vorliegende Arbeit beweist, dass die Verwendung von THI bei der Darmsonographie von Kindern von großem Vorteil ist. Zusätzlich zu einer signifikanten Verbesserung der allgemeinen Bildqualität führt THI zu einer signifikant besseren Darstellung der Wand und des Lumens des Darms. Dies erklärt sich durch eben erwähnte theoretische Vorteile.

Die Darmsonographie hilft anhand typischer sonographischer Muster und der anatomischen Verteilung mit Hilfe der Klinik zur korrekten Diagnose zu finden. Die Wand des Darms ist dabei der am häufigsten diskutierte Parameter. Baud et al. hat in einer Übersichtsarbeit anhand der genauen Analyse der Wandverdickung, mit und ohne Erhalt der Schichtung, die Differentialdiagnosen der Colitis bei Kindern erarbeitet [1]. Laut Haber et al. ist die Darmsonographie hilfreich bei Kindern um die Lokalisation, Schwere und entzündliche Aktivität bei entzündlichen Darmerkrankungen zu evaluieren. Es besteht eine signifikante Korrelation zwischen der maximalen Darmwandverdickung und dem Aktivitätsindex [65]. Micetic-Turk et al. berichtet, dass der Darmultraschall wertvolle Informationen über die Wandstruktur der Dünndarmwand liefert und dadurch bei der Entscheidung über die Notwendigkeit einer Biopsie bei Kindern mit Zöliakie helfen kann [60]. Eine andere Studie zeigt, dass der US bei kritisch kranken Kindern z.B. zur Diagnose des gangränösen Darms wertvoll sein kann. Durch die Mobilität des US-Geräts eignet es sich auch hervorragend zur bedside-Diagnostik [67].

In unserer Studie haben wir uns Kindern hauptsächlich ohne Darmpathologien gewidmet. Nur viermal ist eine Verdickung der Darmwand und 17mal eine Erweiterung des Lumen beobachtet worden. Trotzdem fanden wir, dass die Darstellbarkeit des Darms umso besser ist, je stärker die Darmpathologie ist. Dies deckt sich mit der Aussage von O'Malley, dass der kranke Darm aufgrund von Darmwandverdickung und herabgesetzter Peristaltik und somit reduziertem intraluminalen Gasinhalt besser darstellbar ist [94]. Auch die Studie von Pradel et al. berichtet von einem ähnlichen Ergebnis. Die Sensitivität des Darm-US bei der Betrachtung der Darmwand in nicht-

divertikulärer Ileitis und Colitis ist für leichte Läsionen niedriger (51%) als für starke Läsionen (87%) [95].

Bei Erwachsenen wurde von Schmidt et al. eine Studie durchgeführt, die sich mit dem Vergleich von PIHI und FI bei Darmerkrankungen beschäftigt. Bei 41 Patienten wurden in beiden Modalitäten Ultraschallbilder angefertigt und von drei Radiologen bewertet. Dabei zeigt sich PIHI bezüglich der Parameter Bildqualität, Deutlichkeit von Veränderungen und diagnostische Sicherheit sowie der Detektion von freier Flüssigkeit signifikant überlegen gegenüber FI. Bei zwölf Patienten konnten mit PIHI zusätzlich entscheidende diagnostische Informationen gewonnen werden [96]. Somit kommt die Studie zu dem Ergebnis, dass mit HI eine signifikante Verbesserung der Darmsonographie ermöglicht wird. Die Bildqualität wird verbessert, Darmpathologien und assoziierte Veränderungen in der Umgebung können deutlicher dargestellt werden.

Unsere Studie liefert das gleiche Ergebnis bei überwiegend nicht pathologischem Darm und einem Kollektiv von 90 Kindern. Die Bildqualität, die Darstellung von Wand und Lumen des Darms, sowie Umgebungsbefunde wie freie abdominelle Flüssigkeit und Lymphknoten können mit Harmonic Imaging signifikant besser dargestellt werden. Vergleichende Studien zur Darstellung des gesunden Darms liegen jedoch kaum vor. Scott et al. zeigte, dass mit einer Kombination von THI und Real-Time Spatial compounding (RTSC) die Detektionsrate der normalen Appendix mit 88% höher lag als mit FI (66%). Der Unterschied zwischen beiden Methoden war signifikant im Bezug auf die Visualisierung der Länge der Appendix und der Gesamtbewertung. Die Visualisierung der Wand und des Lumens war mit der experimentellen Methode (THI + RTSC) jeweils besser, der Unterschied jedoch nicht signifikant. Mit der experimentellen Methode schien die Abhängigkeit vom Untersucher abzunehmen [97]. Die vorliegende Arbeit beweist, dass selbst der gesunde Darm, der schwerer zu schallen ist, mit der harmonischen Bildgebung signifikant besser darstellbar ist. Dadurch ist zu erwarten, dass die diagnostische Sicherheit zunimmt, den Darm für „gesund“ zu erklären, wenn keine Pathologien des Darms im Ultraschallbild zu erkennen sind. Durch Anwendung von HI bei der US-Untersuchung des Darms können somit weitere belastende Untersuchungen vermieden werden.

Insbesondere für den Dünndarm ist die Sonographie ein wichtiges diagnostisches Mittel, denn bei einer Gastroduodeno- oder Colonoskopie ist der gesamte Dünndarm normalerweise nicht einsehbar. Alternativen wären strahlenbelastende Durchleuchtung, CT, langdauerndes MRT oder eine invasive diagnostische Laparoskopie. Dies sind Untersuchungen, die man Kindern gern ersparen möchte. Mit Small Intestine Contrast US (SICUS) kann der ganze Dünndarm sonographisch untersucht werden nach oraler Einnahme von nicht absorbierbarer isoosmotischer elektrolytneutraler Polyethylen-Glykol-Lösung [98]. Zwei aktuelle Studien berichten, dass mit SICUS die diagnostische Genauigkeit bei Dünndarmerkrankungen wie M. Crohn und Zöliakie mit radiologischen Untersuchungen vergleichbar ist und es sich für Folgeuntersuchungen als vorteilhaft erweisen könnte [99, 100]. Es wäre zu erforschen, ob mit einer Kombination aus SICUS und HI eine noch größere diagnostische Sicherheit zu erreichen ist.

Der Dickdarm hingegen kann mittels der Koloskopie komplett eingesehen werden. Jedoch ist damit nur die Mukosa beurteilbar. In dem Aspekt ist die Sonographie überlegen, da damit eine Aussage über die transmurale Ausbreitung einer Veränderung, die Umgebungsreaktion und beteiligte Lymphknoten getroffen werden kann. Alternativ müsste wiederum zu aufwendigen, teilweise invasiven und strahlenbelastenden Methoden gegriffen werden. Ein weiterer wesentlicher Vorteil der Sonographie liegt in der Real-Zeit-Betrachtung von Organen und Strukturen. Damit kann die Darmaktivität beobachtet werden und hierdurch noch zusätzliche diagnostische Information für die Differenzierung gesunder zu pathologisch verändertem Darm erlangt werden. Die Sonographie eignet sich gut zum Screening, ist leicht wiederholbar und für die Verlaufskontrolle geeignet. Von HI wird zudem berichtet, dass die Qualität der Bilder weniger vom Untersucher abhängt [2].

4.6 Lymphknoten

Die Detektion von LK in der Sonographie des Abdomens ist häufig. So entdeckte Watanabe et al. im Rahmen einer Studie, die sich mit der Evaluation von abdomineller Lymphadenopathie beschäftigte, bei 112 von 122 asymptomatischen Kindern LK [101]. Bei vergrößerten abdominellen LK ist es hilfreich zu bestimmen, ob diese LK abnormal sind. Die Unterscheidung abnormal/normal gelingt anhand der Bestimmung

von Lage, Zahl, Größe, Form und Echogenität der LK [101]. Hierbei könnte die Verwendung von HI helfen, da die LK mit HI signifikant besser darstellbar sind. Auch die Zöliakie ist häufig mit LK-Vergrößerungen assoziiert. Hierbei ist eine genaue Betrachtung der LK notwendig, um die mit einer unbehandelten Zöliakie assoziierten Lymphome auszuschließen [102].

4.7 Freie abdominelle Flüssigkeit

Die Sensitivität und Spezifität des Ultraschalls, freie abdominelle Flüssigkeit (FAF) zu entdecken, ist über 90% [103]. Das Vorhandensein von FAF kann dabei durchaus normal sein. Sivit et al. fand FAF bei 29% der Kinder mit akuten Bauchschmerzen, aber auch bei 6% der asymptomatischen Kindern [104]. Bei Jéquier et al. konnte FAF zwischen den Darmschlingen bei bis zu 22% der gesunden Kinder gesehen werden [105]. In einer Studie von Schiemann et al wurde ermittelt, dass mittels HI die Detektion kleiner Mengen an freier abdomineller Flüssigkeit bei Patienten mit akuten Bauchschmerzen verbessert ist. HI führte dadurch zu weiteren wichtigen diagnostischen und therapeutischen Schritten [106]. Ebenso berichtet Schmidt et al., dass bei 4 von 41 Patienten mit Darmerkrankungen mit PIHI freie intraperitoneale Flüssigkeit gefunden werden konnte, die mit FI nicht zu sehen war. Die Darstellung der FAF wurde von allen drei Radiologen mit PIHI signifikant besser bewertet als mit FI [96].

In unserer Studie wurde nicht darauf geachtet, ob mit HI Flüssigkeitsansammlungen dargestellt werden können, die in FI nicht zu sehen waren. Vielmehr ging es darum, inwiefern sich HI im direkten Vergleich mit FI als vorteilhaft erweist. Dabei kommen wir zu gleichem Ergebnis wie Schmidt et al. [96]. FAF ist mit HI signifikant besser darstellbar.

4.8 Limitationen

Limitierend an unserer Studie ist die teilweise subjektive Evaluation der Aufnahme. Wie bei den meisten bisherigen Studien wurde die Bildqualität bei uns anhand einer subjektiven Beurteilungsskala bewertet. Eine Studie von 2004 hingegen beschäftigte sich mit der objektiven Messung der Bildqualität mittels eines automatischen

Bildanalyse-Computerprogramms [107]. Dabei waren die in der Studie gemessenen Bildqualität-Parameter 1. axiale Auflösung (axial resolution), 2. laterale Auflösung (lateral resolution), 3. Schichtdicke (slice thickness), 4. Kontrast (contrast resolution), 5. reflexionsarme Zielerkennung (anechoic target detection) und 6. kontrastarme Eindringtiefe (low-contrast penetration depth). Mit HI tritt eine Verbesserung der ersten drei Parameter ein. Die kontrastarme Eindringtiefe sinkt im Vergleich zu FI. Die Bildqualität kann also auch objektiv bewertet werden. Ob es eine Möglichkeit gibt, andere untersuchte Parameter, wie die Darmwand oder das Lumen des Darms, in ähnlicher Weise objektiv zu bewerten, bleibt noch offen.

Ein weiterer limitierender Faktor ist, dass die Ultraschallbilder nur von einem Radiologen erstellt und bewertet wurden. Zudem ist es fraglich, ob eine Blindstudie mit HI wirklich „blind“ ist. Denn meist kann man wegen der auffallenden Differenz auch ohne Kenntnis der verwendeten Methode aufgrund des Kontrasts und der Schärfe der Bilder erschließen, ob es sich um Harmonic Imaging oder die fundamentale Bildgebung handelt.

Die Bilder für die Studie wurden mit dem Siemens-Ultraschallgerät Sonoline Elegra (Issaquah, USA) erstellt, das „Ensemble™ Tissue Harmonic Imaging“ verwendet. „Ensemble™ Tissue Harmonic Imaging“ basiert auf der Phaseninversionstechnik. Studien zeigen, dass generell mit PIHI besser Ergebnisse als mit SHI erhalten werden [12, 17]. Inwiefern unsere Ergebnisse auf andere Geräte übertragbar sind, kann man nur mit Einschränkung sagen. Dies muss weiter evaluiert werden.

4.9 Schlussfolgerung

Der Ultraschall ist eines der wichtigsten bildgebenden Verfahren in der Pädiatrie. Es eignet sich aufgrund seiner Nichtinvasivität und fehlenden Strahlenbelastung hervorragend zur Untersuchung von Kindern. Bei vielen klinischen Fragestellungen (Akutsituationen oder Routineuntersuchungen) ist es diagnostisches Mittel erster Wahl. Mit der vorliegenden Arbeit ist es uns gelungen zu beweisen, dass der Darm bei Kindern mit einer neueren Technik des Ultraschalls, der harmonischen Bildgebung, besser darstellbar ist als mit der herkömmlichen fundamentalen Bildgebung. Wir

empfehlen daher, bei der Evaluation des Darms im Kindesalter anstatt Fundamental Imaging bei gleichem Schallkopf Harmonic Imaging anzuwenden. Auch zur Darstellung von mesenterialen Lymphknoten und freier abdomineller Flüssigkeit ist HI besser geeignet.

5 Zusammenfassung

EINLEITUNG: Die harmonische Bildgebung wurde eingeführt, um für übergewichtige Erwachsene die Ultraschall-Untersuchung zu verbessern. Inwiefern sie auch für Kinder von Vorteil ist, die aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften bessere Untersuchungsbedingungen als Erwachsene bieten, ist bisher nur wenig erforscht worden. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, ob mit HI bei der Darmsonographie von Kindern eine Verbesserung gegenüber FI eintritt.

MATERIAL UND METHODEN: Bei 90 Kindern (w:m=46:44) wurden mit einem linearen 7,5MHz- Schallkopf jeweils vier Bildpaare des Darms in fundamentaler und harmonischer Bildgebung (THI- Sonoline Elegra®, Siemens) angefertigt. Die Bilder wurden anhand einer zehnstufigen Skala evaluiert. Zudem wurde der Einfluss von Alter, Geschlecht und BMI-FAP auf die Darstellbarkeit des Darms untersucht und darauf geachtet, ob Darmpathologien wie Wandverdickung und Dilatation vorliegen. Waren Lymphknoten (LK) oder freie abdominelle Flüssigkeit (FAF) vorhanden, wurden ebenso Bildpaare aufgenommen und miteinander anhand desselben Scoresystems verglichen.

ERGEBNISSE: Bei 17 Patienten wurde jeweils ein Bildpaar ausgeschlossen. Harmonic Imaging (HI) war der fundamentalen Bildgebung in allen untersuchten Parametern signifikant überlegen ($p < 0,001$). HI war bei 90 Patienten bei der Wand des Darms 81-mal, beim Lumen des Darms 85-mal und bei der Bildqualität 85-mal der fundamentalen Bildgebung überlegen. Bei 19 der Kinder wurden Darmpathologien detektiert. (15x Dilatation, 2x Wandverdickung und 2x Dilatation+Wandverdickung). Es besteht eine inverse Korrelation zwischen dem BMI-FAP und der Darstellbarkeit des Lumens bzw. der Bildqualität, unabhängig von der verwendeten Methode. LK und FAF konnten bei 14 bzw. 11 Kindern dargestellt werden. Hier zeigte sich, dass die Darstellung der LK bei allen 14 Kindern mit HI besser als mit der fundamentalen Bildgebung war ($p \leq 0,001$) und bei FAF bei zehn von elf Kindern ($p = 0,001$).

SCHLUSSFOLGERUNG: Bei der Sonographie des Darms im Kindesalter zeigt sich die harmonische Bildgebung der fundamentalen Bildgebung signifikant überlegen. Es sollte daher bei Fragestellungen, die den Darm betreffen, bevorzugt Harmonic Imaging auch in der Pädiatrie angewendet werden.

6 Anhang

6.1 *Abbildungsverzeichnis*

Abb. 2.1: Darstellung zur Erklärung der Darmwandschichtung (Querschnitt rechter Unterbauch mit Darstellung des M.psoas und Iliacalgefäße).....	7
Abb. 2.2: Darm im a) Längs- und b) Querschnitt; a) mäßige Dilatation, Lumen echoarm; b) deutliche Dilatation, Lumen echoreich	7
Abb. 2.3: Viel Luft im Darm, nur Darmwand (Pfeil) erkennbar, dorsale Schallauslöschung	8
Abb. 2.4: Geringe Darmwandverdickung (►) und mäßige Dilatation (D), (BW=Bauchwand).....	8
Abb. 3.1: Häufigkeitsverteilung der Scorewerte für die Bildqualität der Darmwand (score 0= gar nicht darstellbar, 1= sehr schlecht darstellbar,..., 10= sehr gut darstellbar).....	13
Abb. 3.2 a)-c): Bildbeispiele für die Darmwand; links in fundamentaler, rechts in harmonischer Bildgebung. Die Abbildungen a)-c) zeigen, dass die Darmwand besser in harmonischer als in fundamentaler Bildgebung darstellbar ist.	15
Abb. 3.3: Häufigkeitsverteilung der Scorewerte für die Bildqualität des Darmlumen (score 0= gar nicht darstellbar, 1= sehr schlecht darstellbar,..., 10= sehr gut darstellbar).....	16
Abb. 3.4 a)-c): Bildbeispiele für das Darmlumen; links in fundamentaler, rechts in harmonischer Bildgebung. Die Abbildungen a)-c) zeigen, dass das Darmlumen besser in harmonischer als in fundamentaler Bildgebung darstellbar ist.	17
Abb. 3.5: Häufigkeitsverteilung der Scorewerte für die allgemeine Bildqualität (score 0= gar nicht darstellbar, 1= sehr schlecht darstellbar,..., 10= sehr gut darstellbar)	18
Abb. 3.6 a)-c): Bildbeispiele für die allgemeine Bildqualität; links in fundamentaler, rechts in harmonischer Bildgebung. Abbildungen a)-c) zeigen, dass die allgemeine Bildqualität besser in harmonischer als in fundamentaler Bildgebung ist.	19

Abb. 3.7: Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Scorewerte für die Bildqualitätsbeurteilung bei den US-Aufnahmen a) der Darmwand, b) des Darmlumens und c) der allgemeinen Bildqualität in fundamental (FI) und harmonic imaging (THI).....	20
Abb. 3.8: Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Scorewerte bei den US-Aufnahmen der Darmwand, des Darmlumens und der allgemeinen Bildqualität bei den Jungen und Mädchen im Vergleich.	21
Abb. 3.9: Korrelation zwischen Darmpathologien und der Darstellbarkeit des Darms (Wand, Lumen, Gesamtbildqualität)	23
Abb. 3.10: Verteilung der Scorewerte für die Darstellbarkeit der mesenterialen Lymphknoten bei allen 17 Paar Bildaufnahmen	24
Abb. 3.11: Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen des Score für die Darstellbarkeit von mesenterialen Lymphknoten in FI (fundamental) und HI (harmonic imaging)	25
Abb. 3.12 a)-b): Darstellung mesenterialer LK in fundamental (links) und harmonic (rechts) imaging. LK (mit Pfeil markiert) sind deutlich besser in HI zu erkennen.	25
Abb. 3.13: Verteilung der Scorewerte für die Darstellbarkeit von FAF bei 16 Paar Bildaufnahmen in fundamental (FI) und harmonic imaging (HI).....	26
Abb. 3.14: Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen des Score für die Darstellbarkeit von freier abdomineller Flüssigkeit in FI (fundamental) und HI (harmonic imaging)	27
Abb. 3.15: Darstellung freier abdomineller Flüssigkeit (FAF) in fundamental (links) und harmonic imaging (rechts). FAF (durch Pfeil gekennzeichnet) ist deutlich besser in HI zu erkennen.....	28

6.2 Auswertungsbogen

Nummer: _____

Patientendaten:

- 1. ID: _____
- 2. Initialen: _____
- 3. Geburtsdatum: _____
- 4. Geschlecht: _____ 0=männlich 1=weiblich
- 5. Gewicht (kg): _____
- 6. Größe (m): _____
- 7. BMI (kg/m²): _____
- 8. BMI-FAP: _____
- 9. Sono-Datum: _____
- 10. Indikation für Ultraschall: _____
- 11. abdominelle Beschwerden: _____ 0=nein 1=ja

Sonographie:

A) Darm

Skala von 0-4 (0=kein, 1=gering, 2=mäßig, 3=deutlich, 4=massiv)

- 12. Dilatation? _____
- 13. Darmwandverdickung? _____

I: 1.Darmschnitt II: 2.Darmschnitt III: 3.Darmschnitt IV: 4.Darmschnitt
Skala von 0-10 (0=gar nicht, 1=sehr schlecht, ..., 5=mittel, ..., 10=sehr gut darstellbar)

- 14. Wand:
 - I: a) _____ b) _____
 - II: a) _____ b) _____
 - III: a) _____ b) _____
 - IV: a) _____ b) _____
- 15. Lumen:
 - I: a) _____ b) _____
 - II: a) _____ b) _____
 - III: a) _____ b) _____
 - IV: a) _____ b) _____
- 16. Bildqualität:
 - I: a) _____ b) _____
 - II: a) _____ b) _____
 - III: a) _____ b) _____
 - IV: a) _____ b) _____

B) Lymphknoten:

nicht abgebildet

- 17. Abbildung: Skala von 1-10 (1=sehr schlecht, ..., 10=sehr gut)
 - I: a) _____ b) _____
 - II: a) _____ b) _____

C) Freie Flüssigkeit:

nicht abgebildet

- 18. Abbildung: Skala von 1-10
 - I: a) _____ b) _____
 - II: a) _____ b) _____

- 19. Lokalisation der freien Flüssigkeit: _____
1: interenterisch 2: subhepatisch 3: retrovesikal

Bildbeispiel: _____

6.3 *Literaturverzeichnis*

- [1] Baud C, Saguintaah M, Veyrac C, Couture A, Ferran JL, Barneon G, Veyrac M: Sonographic diagnosis of colitis in children
European Radiology 2004, 14(11): 2105-2119
- [2] Schoelgens C: Native Tissue Harmonic Imaging
Der Radiologe 1998, 38: 420-423
- [3] Darge K, Beer M: Advances in pediatric sonography
Der Radiologe 2003, 43(10): 813-822
- [4] Garg M, Sandhu M, Sood B, Lal A, Suri S, Bhasin D: Tissue harmonic imaging in the evaluation of acute pancreatitis
Australasian Radiology 2004, 48(2): 117-122
- [5] Choudhry S, Gorman B, Charboneau JW, Tradup DJ, Beck RJ, Kofler JM, Groth DS: Comparison of Tissue Harmonic Imaging with Conventional US in Abdominal Disease
Radiographics 2000, 20: 1127-1135
- [6] Krupski W, Paslawski M, Zlomaniec J: The value of ultrasound harmonic imaging in the diagnostics of the abdomen
Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska, Medicina 2003, 58(2): 71-78
- [7] Yücel C, Özdemir H, Asik E, Öner Y, Isik S: Benefits of tissue harmonic imaging in the evaluation of abdominal and pelvic lesions
Abdominal Imaging 2003, 28: 103-109
- [8] Blaivas M, DeBehnke D, Sierzenski PR, Phelan MB: Tissue harmonic imaging improves organ visualization in trauma ultrasound when compared with standard ultrasound mode
Academic Emergency medicine 2002, 9 (1): 48-53
- [9] Stiskal M, Steinbach R, Obholzer G, Frank W, Fischer H, Czembirek H: Tissue harmonic imaging sonography. Is the image quality in routine abdominal ultrasound improved
Rofo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlung und der Nuklearmedizin 2000 172(12): 1006-1010

- [10] Tanaka S, Oshikawa O, Sasaki T, Ioka T, Tsukuma H: Evaluation of Tissue Harmonic Imaging for the diagnosis of focal liver lesions
Ultrasound in Medicine & Biology 2000, 26(2): 183-187
- [11] Becker D, Strobel D, Hahn EG: Tissue harmonic imaging and contrast harmonic imaging. Improving the diagnosis of liver metastasis?
Internist 2000 41(1): 17-23.
- [12] Jang HJ, Lim HK, Lee WJ, Kim SH, Kim KA, Kim EY: Ultrasonographic Evaluation of Focal Hepatic Lesions: Comparison of Pulse Inversion Harmonic , Tissue Harmonic and Conventional Imaging Techniques
Journal of Ultrasound in Medicine 2000, 19: 293-299
- [13] Flunker S, Aube C, Anglade E, Vuillemin E, BourreeY, Burtin P, Caron-Poitreau C: Value of tissue harmonic imaging in biliary lithiasis
Gastroenterology clinique et biologique 2001, 25: 589-594
- [14] Ierardi E, Muscatiello N, Nacchiero M, Gentile E, Margiotta M, Marangi S, De Francesco V, Francavilla R, Barone M, Faleo D, Panella C, Francavilla A, Cuomo R: Second harmonic imaging improves trans-abdominal ultrasound of biliary sludge in 'ideopathic' pancreatitis
Alimentary Pharmacology & Therapeutics 2003, 17: 473-477
- [15] Ortega D, Burns PN, Hope Simpson D, Wilson SR: Tissue harmonic imaging: is it a benefit for bile duct sonography?
American Journal of Roentgenology 2001, 176(3): 653-659
- [16] Migaleddu V, Virgilio G, Sirigu D, Canalis GC: Conventional ultrasonography versus Tissue Harmonic Imaging for the assessment of the common bile duct in cholecystectomized patients
La Radiologia Medica 2002, 104(1-2): 52-57
- [17] Hong H, Han JK, Kim TK, Kim YH, Kim JS, Cha JH, Choi BI:
Ultrasonographic Evaluation of the Gallbladder - Comparison of FI, THI and PIHI
Journal of Ultrasound in Medicine 2001, 20: 35-41

- [18] Hohl C, Schmidt T, Haage P, Honnef D, Blaum M, Staatz G, Guenther RW: Phase-inversion tissue harmonic imaging compared with conventional B-mode ultrasound in the evaluation of pancreatic lesions
European Radiology 2004, 14(6): 1109-1117
- [19] Jenssen C, Schick B, Siebert C: Quo vadis Endosonographie
Brandenburgisches Ärzteblatt 2003, 11: 346-349
- [20] Ishikawa H, Hirooka Y, Itoh A, Hashimoto S, Okada N, Itoh T, Kawashima H, Hoto H: A comparison of image quality between tissue harmonic imaging and fundamental imaging with an electronic radial scanning echoendoscope in the diagnosis of pancreatic diseases
Gastrointestinal Endoscopy 2003, 57(7): 931-936
- [21] Schiemann U, Dieterle C, Gotzberger M, Landgraf R, Heldwein W: Improved ultrasound examination of pancreas grafts in type 1 (insulin-dependent) diabetic patients using tissue harmonic imaging
Transplantation Proceedings 2003, 35(8): 3081-3084
- [22] Schmidt T, Hohl C, Haage P, Blaum M, Honnef D, Weibeta C, Staatz G, Guenther RW: Diagnostic accuracy of phase-inversion tissue harmonic imaging versus fundamental B-mode sonography in the evaluation of focal lesions of the kidney
American Journal of Roentgenology 2003, 180(6): 1639-1647
- [23] Kim B, Lim HK, Choi MH, Woo JY, Ryu J, Kim S, Peck KR: Detection of parenchymal abnormalities in acute pyelonephritis by pulse inversion harmonic imaging with or without microbubble ultrasonographic contrast agent: correlation with computed tomography
Journal of Ultrasound in Medicine 2001, 20(1): 5-14
- [24] Saleh A, Cupisti K, Fürst G, Feldkamp J, Grust A, Mödder U: Erlaubt das Tissue Harmonic Imaging eine frühe postoperative Schilddrüsen volumetrie?
Rofo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlung und der Nuklearmedizin 2001, 173: 325-328

- [25] Hickman M, Swinburn JM, Senior R: Wall thickening assessment with tissue harmonic echocardiography results in improved risk stratification for patients with non-ST-segment elevation acute chest pain
European Journal of Echocardiography 2004, 5(2): 142-148
- [26] Chirillo F, Pedrocco A, De Leo A, Bruni A, Totis O, Meneghetti P, Stritoni P: Impact of harmonic imaging on transthoracic echocardiographic identification of infective endocarditis and its complications
Heart 2005, 91(3): 329-333
- [27] Ward R, Collins KA, Balasia B, Spencer KT, Decara JM, Mor-Avi V, Sugeng L, Lang RM: Harmonic imaging for endocardial visualization and myocardial contrast echocardiography during transesophageal echocardiography
Journal of the American Society of Echocardiography 2004, 17(1): 10-14
- [28] Spratt J, Leslie SJ, White A, Fenn L, Turnbull C, Northridge DB: Harmonic imaging improves estimation of left ventricular mass
The International Journal of Cardiovascular Imaging 2004, 20(2): 107-111
- [29] Rubin D, Yazbek N, Garcia MJ, Stewart WJ, Thomas JD: Qualitative and quantitative effects of harmonic echocardiographic imaging on endocardial edge definition and side-lobe artifacts
Journal of the American Society of Echocardiography 2000, 13(11): 1012-1018
- [30] Willinek W, von Falkenhausen M, Strunk H, Schild H: Tissue Harmonic Imaging im Vergleich zum konventionellen Ultraschall: Einfluss auf Bildqualität und Untersuchervariabilität bei der Messung der Intima-Media-Dicke in der Arteria carotis communis
Rofo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlung und der Nuklearmedizin 2000, 172: 641-645
- [31] Puls I, Berg D, Maurer M, Schliesser M, Hetzel G, Becker G: Transcranial sonography of the brain parenchyma: comparison of B-mode imaging and tissue harmonic imaging
Ultrasound in Medicine & Biology 2000, 26(2): 189-194
- [32] Strobel K, Zanetti M, Nay L, Hodler J: Suspected rotator cuff lesions: tissue harmonic imaging versus conventional US of the shoulder
Radiology 2004, 230(1): 243-249

- [33] Mahmutyazicioglu K, Tanriverdi HA, Ozdemir H, Barut A, Davsanci H, Gundogdu S: Transabdominal pulse inversion harmonic imaging improves assessment of ovarian morphology in virgin patients with PCOS: comparison with conventional B-mode sonography
European Journal of Radiology 2005, 53(2): 280-286
- [34] Kubota K, Hisa N, Ogawa Y, Yoshida S: Evaluation of tissue harmonic imaging for breast tumors and axillary lymph nodes
Oncology Reports 2002, 9 (6): 1335-1338
- [35] Jung E, Clevert DA, Lutz R, Kett H, Rupp N: THI zur präoperativen sonographischen Markierung von Mammaherden
Rofo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlung und der Nuklearmedizin 2002, 174: 1121-1125
- [36] Rosen E, Scott Soo M: Tissue harmonic imaging sonography of breast lesions improved margin analysis, conspicuity, and image quality compared to conventional ultrasound
Journal of Clinical Imaging 2001, 25: 379-384
- [37] von Kaisenberg C, Kuhling-von Kaisenberg H, Fritzer E, Schemm S, Meinhold-Heerlein I, Jonat W: Fetal transabdominal anatomy scanning using standard views at 11 to 14 weeks' gestation
American Journal of Obstetrics and Gynecology 2005, 192(2): 535-542
- [38] Ryu J, Kim B, Kim S, Yang SH, Choi MH, Ahn HS: Ultrasound evaluation of normal and abnormal fetuses: comparison of conventional, tissue harmonic, and pulse-inversion harmonic imaging techniques
Korean Journal of Radiology 2003, 4(3): 184-190
- [39] Paladini D, Vassallo M, Tartaglione A, Lapadula C, Martinelli P: The role of tissue harmonic imaging in fetal echocardiography
Ultrasound in Obstetrics & Gynecology 2004, 23(2): 159-164
- [40] Rompel O, Huelss B, Bodenschatz K, Reutter G, Darge K. Harmonic US imaging of appendicitis in children
Pediatric Radiology 2006

- [41] Bartram U, Darge K: Harmonic versus conventional ultrasound imaging of the urinary tract in children
Pediatric Radiology 2005, 35(7): 655-660
- [42] Darge K, Zieger B, Rohrschneider W, Ghods S, Wunsch R, Troeger J: Contrast-enhanced harmonic imaging for the diagnosis of vesicoureteral reflux in pediatric patients
American Journal of Roentgenology 2001, 177(6): 1411-1415
- [43] Darge K, Moeller RT, Trusen A, Butter F, Gordjani N, Riedmiller H: Diagnosis of vesicoureteric reflux with low-dose contrast-enhanced harmonic ultrasound imaging
Pediatric Radiology 2005, 35(1): 73-78
- [44] Dencker M, Thorsson O, Wollmer P: Comparison between fundamental and second-harmonic imaging echocardiography for calculation of left ventricular mass in children
Clinical Physiology and Functional Imaging 2005, 25(4): 223-225
- [45] Ishii M, Himeno W, Sawa M, Iemura M, Furui J, Muta H, Sugahara Y, Egami K, Akagi T, Ishibashi M, Kato H: Assessment of the ability of myocardial contrast echocardiography with harmonic power Doppler imaging to identify perfusion abnormalities in patients with Kawasaki disease at rest and during dipyridamole stress
Pediatric Cardiology 2002, 23(2): 192-199
- [46] McMahon C, Fraley JK, Kovalchin JP: Use of tissue harmonic imaging in pediatric echocardiography
Cardiology in the Young 2001, 11(5): 562-564
- [47] Zilberman M, Witt SA, Kimball TR: Is there a role for intravenous transpulmonary contrast imaging in pediatric stress echocardiography?
Journal of the American Society of Echocardiography 2003, 16(1): 9-14
- [48] Dybiec E, Brodzisz A, Pietka M, Obloza M, Niedzielska G, Kowalczyk J, Wiczorek P: The application of ultrasound contrast, 3D imaging and tissue harmonic imaging in the differential diagnosis of lymph nodes enlargement in children
Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska. Medicina 2002, 57(2): 131-142

- [49] Schumacher R, Brzezinska R, Peters H: Sonographische Untersuchungstechnik von Kindern und Jugendlichen
Berlin Heidelberg: Springer-Verlag 2003: 121-134
- [50] Kehl O: The pathological, intestinal cockade sign
Schweizerische Rundschau für Medizin Praxis 2002, 91(14): 597-602
- [51] Mathis G: Gastrointestinale Sonographie
Stuttgart: Georg Thieme Verlag 2003, Vol. 2
- [52] Kim J: US features of transient small bowel intussusception in pediatric patients
Korean Journal of Radiology 2004, 5(3): 178-184
- [53] Smoljanic Z, Zivic G, Krstic Z, Milanovic D, Vukanic D, Lukac R: Intestinal intussusception in children. Ultrasonic diagnosis
Srpski Arhiv za Celokupno Lekarstvo 2000, 128(7-8): 259-261
- [54] Simonovsky V: Sonographic detection of normal and abnormal appendix
Clinical Radiology 1999, 54(8): 533-539
- [55] Wiersma F, Sramek A, Holscher HC: US features of the normal appendix and surrounding area in children
Radiology 2005, 235(3): 1018-1022
- [56] Simonovsky V: Normal appendix: is there any significant difference in the maximal mural thickness at US between pediatric and adult populations?
Radiology 2002, 224(2): 333-337
- [57] Karakas S, Guelfguat M, Leonidas JC, Springer S, Singh SP: Acute Appendicitis in children: comparison of clinical diagnosis with ultrasound and CT imaging
Pediatric Radiology 2000, 30: 94-98
- [58] Hahn H, Höpner F, vKalle T, Macdonald E, Prantl F, Spitzer I, Färber D: Appendicitis im Kindesalter
Der Radiologe 1997, 37(6): 454-458
- [59] Rioux M: Sonographic detection of the normal and abnormal appendix
American Journal of Roentgenology 1992, 158(4): 773-778
- [60] Micetic-Turk D, Umek-Bradac S, Dolinsek J, Gorenjak M, Turk Z, Skalicky M: Ultrasonographic assessment of celiac disease in children: comparison with antiendomysium antibodies and histology
Wiener Klinische Wochenschrift 2001, 113 Suppl 3: 27-31

- [61] Riccabona M, Rossipal E: Sonographic findings in celiac disease
Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition 1993, 17(2): 198-200
- [62] Riccabona M, Rossipal E: Value of ultrasound in diagnosis of celiac disease
Ultraschall in der Medizin 1996, 17(1): 31-33
- [63] Ueda D, Sato T, Yoshida M: Ultrasonographic assessment of Salmonella enterocolitis in children
Pediatric Radiology 1999, 29: 469-471
- [64] Bass D, Cordoba E, Dekker C, Schuind A, Cassady C: Intestinal imaging of children with acute rotavirus gastroenteritis
Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition 2004, 39(3): 270-274
- [65] Haber H, Busch A, Ziebach R, Dette S, Ruck P, Stern M: Ultrasonographic findings correspond to clinical, endoscopic, and histologic findings in inflammatory bowel disease and other enterocolitides
Journal of Ultrasound in Medicine 2002, 21(4): 375-382
- [66] Baldisserotto M, Spolidoro JV, Bahu Mda G: Graded compression sonography of the colon in the diagnosis of polyps in pediatric patients
American Journal of Roentgenology 2002, 179(1): 201-205
- [67] Azarow K, Connolly B, Babyn P, Shemie SD, Ein S, Pearl R: Multidisciplinary evaluation of the distended abdomen in critically ill infants and children: the role of bedside sonography
Pediatric surgery international 1998, 13(5-6): 355-359
- [68] Connett G, Lucas JS, Atchley JT, Fairhurst JJ, Rolles CJ: Colonic wall thickening is related to age and not dose of high strength pancreatin microspheres in children with cystic fibrosis
European Journal of gastroenterology & hepatology 1999, 11(2): 181-183
- [69] Ramsden W, Moya EF, Littlewood JM: Colonic wall thickness, pancreatic enzyme dose and type of preparation in cystic fibrosis
Archives of disease in childhood 1998, 79(4): 339-343
- [70] Pohl M, Krackhardt B, Posselt HG, Lembcke B: Ultrasound studies of the intestinal wall in patients with cystic fibrosis
Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition 1997, 25(3): 317-320

- [71] Dialer I, Hundt C, Bertele-Harms RM, Harms HK: Sonographic evaluation of bowel wall thickness in patients with cystic fibrosis
Journal of Clinical Gastroenterology 2003, 37(1): 55-60
- [72] Mentzel H, Kentouche K, Kosmehl H, Gruhn B, Vogt S, Sauerbrey A, Behrendt W, Fuchs D, Zintl F, Kaiser WA: US and MRI of gastrointestinal graft-versus-host disease
Pediatric Radiology 2002, 32(3): 195-198
- [73] Schmidt GH: Checkliste Sonographie
Georg Thieme Verlag; Stuttgart; 2005: Vol. 3: 384ff
- [74] Ledermann H, Börner N, Strunk H, Bongartz G, Zollikofer C, Stuckman G: Bowel Wall Thickening on Transabdominal Sonographie
American Journal of Roentgenology 2000, 174: 107-117
- [75] Sommer B, Pädiatrische Ultraschalldiagnostik in der Praxis
de Gruyter; Berlin New York; 1991: 5-29
- [76] Gourtsoyiannis N.: Radiological Imaging of the Small Intestine. Medical Radiology - Diagnostic Imaging
Springer-Verlag; Berlin Heidelberg New York; 2002: 1ff
- [77] Kuczmarski R, Ogden CL, Grummer-Strawn LM, Flegal KM, Guo SS, Wei R, Mei Z, Curtin LR, Roche AF, Johnson CL: CDC growth charts: United States
Advance Data 2000, (314): 1-27
- [78] Flegal K, Wei R, Ogden C: Weight-for-stature compared with body mass index-for-age growth charts for the United States from the Centers for Disease Control and Prevention
The American journal of clinical nutrition 2002, 75(4): 761-766
- [79] Brodzisz A, Wieczorek P, Dybiec E, Pietka M, Osemlak J: High frequency ultrasound diagnostics of right lower quadrant abdominal pain in children
Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska. Medicina 2003, 58(1): 437-43
- [80] Burns P, Powers JE, Simpsons DH, Uhlendorf V, Fritzsche T: Harmonic Imaging Principles and Preliminary Results
Angiology 1996, 47(7): 63-74

- [81] Haerten R, Lower C, Becker G, Gebel M, Rosenthal S, Sauerbrei E: "Ensemble Tissue Harmonic Imaging" Technologie und klinischer Nutzen
Electromedica 67 (Siemens) 1999, 1: 56-62
- [82] Tranquart F, Grenier N, Eder V, Pourcelot L: Clinical use of ultrasound tissue harmonic imaging
Ultrasound in Medicine & Biology 1999, 25(6): 889-894
- [83] Schlottmann K: Neue sonographische Techniken: Wird die Bildgebung einfacher?
39. Bayerischer Internisten-Kongress 2000
W. Zuckschwerdt Verlag, München; 2001: 1-6
- [84] Rosenthal S, Jones PH, Wetzel LH: Phase inversion tissue harmonic sonographic imaging: a clinical utility study
American Journal of Roentgenology 2001, 176(6): 1393-1398
- [85] Hörmann M, Scharitzer M, Stadler A, Pokieser P, Puig S, Helbich T: Ultrasound of the appendix in children: is the child too obese?
European Radiology 2002, published online: 19 November 2002
- [86] Josephsson T, Styraud J, Eriksson S: Ultrasonography in acute appendicitis. Body mass index as selection factor for US examination
Acta Radiologica 2000, 41: 486-488
- [87] Mahnken A, Krombach GA, Hohl C, Heussen N, Truong S, Guenther RW: Imaging of the abdominal wall: combination of tissue-harmonic-imaging and extended field-of-view sonography
Rofo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlung und der Nuklearmedizin 2004, 176(12): 1837-1842
- [88] Treadwell M, Seubert DE, Zador I, Goyert GL, Wolfe HM: Benefits associated with harmonic tissue imaging in the obstetric patient
American Journal of obstetrics and gynecology 2000, 182(6): 1620-1623
- [89] Hann L, Bach AM, Cramer LD, Siegel D, Yoo HH, Garcia R: Hepatic sonography: comparison of tissue harmonic and standard sonography techniques
American Journal of Roentgenology 1999, 173(1): 201-206

- [90] Desser T, Jeffrey RB Jr, Lane MJ, Ralls PW: Tissue harmonic imaging: utility in abdominal and pelvic sonography
Journal of Clinical Ultrasound 1999, 27(3): 135-142
- [91] Shapiro R, Wagreich J, Parsons RB, Stancato-Pasik A, Yeh HC, Lao R: Tissue harmonic imaging sonography: evaluation of image quality compared with conventional sonography
American Journal of Roentgenology 1998, 171(5): 1203-1206
- [92] Kubota K, Hisa N, Nishikawa T, Ohnishi T, Ogawa T, Yoshida S: The utility of tissue harmonic imaging in the liver: a comparison with conventional gray-scale sonography
Oncology Reports 2000, 7 (4): 767-771
- [93] Becher H, Tiemann K, Schlosser T, Pohl C, Nanda NC, Averkiou MA, Powers J, Luderitz B: Improvement in Endocardial Border Delineation Using Tissue Harmonic Imaging
Echocardiography 1998, 15(5): 511-518
- [94] O'Malley M, Wilson SR: US of gastrointestinal tract abnormalities with CT correlation
Radiographics 2003, 23(1): 59-72
- [95] Pradel J, David XR, Taourel P, Djafari M, Veyrac M, Bruel JM: Sonographic assessment of the normal and abnormal bowel wall in nondiverticular colitis
Abdominal Imaging 1997, 22: 167-172
- [96] Schmidt T, Hohl C, Haage P, Honnef D, Mahnken AH, Krombach G, Piroth W, Gunther RW: Phase-inversion tissue harmonic imaging compared to fundamental B-mode ultrasound in the evaluation of the pathology of large and small bowel
European Radiology 2005
- [97] Scott T, Swan H, Jurriaans E, Voss M: Sonographic Detection of the Normal Appendix - Does the Combination of Real-Time Spatial Compounding and Tissue Harmonic Imaging Make a Difference?
Journal of Diagnostic Medical Sonography 2004, 20(5): 326-334
- [98] Palotta N, Baccini F, Corazziari E: Small intestine contrast ultrasonography
Journal of Ultrasound in Medicine 2000, 19(1): 21-26

- [99] Dell'aquila P, Pietrini L, Barone M, Cela EM, Valle ND, Amoruso A, Minenna MF, Penna A, De Francesco V, Panella C, Ierardi E: Small Intestinal Contrast Ultrasonography-Based Scoring System: A Promising Approach for the Diagnosis and Follow-Up of Celiac Disease
Journal of Clinical Gastroenterology 2005, 39(7): 591-595
- [100] Pallotta N, Tomei E, Viscido A, Calabrese E, Marcheggiano A, Caprilli R, Corazziari E: Small intestine contrast ultrasonography: an alternative to radiology in the assessment of small bowel disease
Inflammatory Bowel Diseases 2005, 11(2): 146-153
- [101] Watanabe M, Ishii E, Hirowatari Y, Hayashida Y, Koga T, Akazawa K, Miyazaki S: Evaluation of abdominal lymphadenopathy in children by ultrasonography
Pediatric Radiology 1997, 27: 860-864
- [102] Hummel M, Heinlein W, Banholzer P, Standl E, Ziegler AG: Erstmanifestation eines Typ-1-Diabetes mit Anämie, Hyperparathyreoidismus und abdomineller Lymphadenomatose
Der Internist 2001, 42: 279-283
- [103] Paajanen H, Lahti P, Nordback I: Sensivity of transabdominal ultrasonography in detection of intraperitoneal fluid in humans
European Radiology 1999, 9(7): 1423-1425
- [104] Sivit CJ: Significance of peritoneal fluid identified by ultrasonographic examination in children with acute abdominal pain
Journal of Ultrasound in Medicine 1993, 12: 743-746
- [105] Jéquier S, Jéquier JC, Hanquinet S: Intraperitoneal fluid in children: normal ultrasound findings depend on which scan head you use
Pediatric Radiology 2003, 33: 86-91
- [106] Schiemann U, Gotzberger M, Reissenweber H, Suttman I, Berner I, Hoyer X, Heldwein W: Ultrasound in emergency patients: better detection of free intraabdominal fluids by the use of tissue harmonic imaging
European Journal of Medical Research 2004, 9(6): 328-332

[107] Browne J, Watson AJ, Gibson NM, Dudley NJ, Elliott AT: Objective measurements of image quality

Ultrasound in Medicine & Biology 2004, 30(2): 229-237

DANKSAGUNG

Zuerst möchte ich ganz besonders Herrn Professor Dr. med. Darge danken, der mir dieses spannende Thema überließ, mich stets persönlich betreute und mir konsequent bis zum Abschluss der Dissertation mit Rat und Tat zur Seite stand.

Mein recht herzlicher Dank gilt des weiteren Dr. Pokorny, der mir eine riesige Hilfe bei der Statistik war, mit mir bis tief in die Nacht begeistert die Ergebnisse analysierte und diskutierte und es nicht müde wurde, mir jede noch so banale Frage in statistischen Angelegenheiten zu beantworten.

Nicht zuletzt möchte ich Frau Dr. Koppisch danken, die zuverlässig und kompetent einen Teil der Statistik bearbeitete und Interpretationshilfe leistete.

Abschließend möchte ich von ganzem Herzen meiner Familie danken, die immer bei allem, was ich tat, an mich glaubte, mir vertraute und mich während der langen Zeit des Studiums einschließlich der Promotion immer unterstützte, nicht zuletzt auch finanziell. Nicht zu vergessen J. Franz, dem ich für seine Kenntnisse in der EDV und vor allem für seine Liebe und Geduld danken möchte.

LEBENS LAUF

Persönliche Daten

Anschrift: Senefelderstr. 74A
70176 Stuttgart
Telefon: 0711/4208198
0176/20014654
e-mail: britta.schlauss@web.de
Geburtsdatum: 21.09.1978
Geburtsort: Dresden
Familienstand: ledig
Staatsangehörigkeit: deutsch
Religion: evangelisch

Schul Ausbildung

1984 bis 1988 Grunds chule Ichenhausen, Bayern
1988 bis 1997 Dossenberger Gymnasium Günzburg, Bayern:
Neusprachliche Ausbildungsrichtung
Leistungskurse: Mathematik, Französisch; Abiturnote: 1,5
Offermann-Stipendium

Studium

1998 Beginn mit dem Studium der Humanmedizin an der Julius
Maximilian-Universität Würzburg
2000 Physikum
2001 1.Staatsexamen
2004 2.Staatsexamen
04/2004– 03/2005 Praktisches Jahr:
Innere Medizin: Juliusspital Würzburg
Chirurgie: St. Claraspital, Basel, Schweiz
Universidad de Sevilla, Spanien
Pädiatrie: Inselspital, Bern, Schweiz
04/2005 3.Staatsexamen

Praktika

01.11.1997- 30.12.1997 Pflegepraktikum: Kreiskrankenhaus Günzburg
11.09.2000 - 08.10.2000 Sport- und Rehabilitationsmedizin: Uniklinikum Ulm
10.09.2001 - 26.09.2001 Chirurgie: Krankenhaus St. Elisabeth Dillingen
07.11.2001 - 06.02.2002 Innere Medizin, Pädiatrie und Gynäkologie:
Hospital general de los Yungas, Coroico La Paz, Bolivien

Studienbegleitende Kurse

2000/2001	Erster Teil Facharztausbildung Sportmedizin
2003	Ultraschallkurs in der Pädiatrie, Kinderklinik, Würzburg
2003/2004	EKG-Kurs, medizinische Poliklinik, Würzburg

Weitere Tätigkeiten

09/1999 – 10/1999	Ferienarbeit in der Kinderkurklinik Seehospiz auf Norderney
10/2001 - 06/2003	Urlaubsvertretung für betriebliche Sanitätsstelle bei Serco in Ulm
06/2003	Mitarbeiter bei der „Fit- und Gesund-Tour 2003“ der GEK (Gmünder Ersatzkasse)

berufliche Stationen

seit 11/2005	Assistenzärztin in der medizinischen Klinik des Kreiskrankenhauses Leonberg
--------------	---

Persönliche Interessen

Sport	Kunstturnen (mehrfache Bayer. Meisterin, Teilnahme in der 2. Bundesliga) Skifahren Kickboxen
Sprachen	Englisch Französisch Spanisch