

Kinderchirurgische Klinik und Poliklinik im Dr. von Hauner'schen Kinderspital der Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. D. v. Schweinitz

Ehem. Direktor: Prof. Dr. med. I. Joppich

**8-Kanal-Manometrie des anorektalen Kontinenzorgans –
Normwerte im Säuglings- und Kindesalter**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin

an der Medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Gabriele Schimscha

München 2004

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. I. Joppich
Mitberichterstatter:	Priv. Doz. Dr. A. Strauss
Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter:	Dr. med. T. Schuster
Dekan:	Prof. Dr. med. Dr. h. c. K. Peter
Tag der mündlichen Prüfung:	22.01.2004

Inhalt

<u>1) Einleitung</u>	Seite
1.1) Anatomie und Entwicklungsgeschichte des anorektalen Kontinenzorgans	5
1.2) Geschichte der Manometrie	8
1.3) Zielsetzung dieser Arbeit	9
<u>2) Material und Methodik</u>	
2.1) Aufbau des Messplatzes	11
2.2) Kathetereichung und Vorbereitung der Probanden	12
2.3) Anfertigung eines speziellen Babykatheters	12
2.4) Auswahl der Probanden	13
2.5) Alters- und Geschlechtsverteilung der ausgewählten Probanden	13
2.6) Untersuchungsablauf	15
2.7) Markierung der Durchzugsprofile mit den Ereignissen R (= resting) und S (= squeeze)	15
2.8) Softwaregestützte Umwandlung der Durchzugsprofile in dreidimensionale Grafiken	16
2.9) Auswertung der Durchzugsprofile	17
2.10) Erläuterung der untersuchten Parameter	17
2.10a) Der Basisliniendruck	17
2.10b) Die Länge des Sphinkters (= chirurgischer Analkanal)	18
2.10c) Die Hochdruckzone	18
2.10d) Der maximale Segmentmitteldruck	19
2.10e) Entfernung des maximalen Segmentmitteldrucks von anokutan (Linea dentata)	19
2.10f) Das Vektorvolumen	20
2.10g) Asymmetrieindizes und qualitative Beurteilung der Druckverteilung	20

8-Kanal-Manometrie des anorektalen Kontinenzorgans
Normwerte im Säuglings- und Kindesalter

Inhalt

2.10h) Die Gesamtasymmetrie	21
2.11) Statistik	21

3) Ergebnisse

3.1) Der Basisliniendruck	22
3.2) Die Länge des Sphinkters (= chirurgischer Analkanal)	23
3.3) Die Hochdruckzone	26
3.4) Der maximale Segmentmitteldruck	28
3.5) Entfernung des maximalen Segmentmitteldrucks von anokutan (Linea dentata)	32
3.6) Das Vektorvolumen	33
3.7) Asymmetrieindizes und qualitative Beurteilung der Druckverteilung	35
3.8) Die Gesamtasymmetrie	37

4) Diskussion

4.1) Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit manometrischer Messungen - intra- und interindividuelle Unterschiede	39
4.2) Wahl des Katheters	41
4.3) Einfluss verschiedener Faktoren wie Alter, Geschlecht und Anzahl von Geburten auf die Ergebnisse manometrischer Messungen	44
4.4) Defizite der angewandten Software	46
4.5) Der Basisliniendruck	47
4.6) Die Länge des Sphinkters	48
4.7) Die Hochdruckzone	51
4.8) Der maximale Segmentmitteldruck	52
4.9) Entfernung des maximalen Segmentmitteldrucks von anokutan	55
4.10) Das Vektorvolumen	56
4.11) Asymmetrieindizes und qualitative Beurteilung der Druckverteilung	58
4.12) Die Gesamtasymmetrie	62
4.13) Andere Untersuchungsverfahren zur Beurteilung	

8-Kanal-Manometrie des anorektalen Kontinenzorgans
Normwerte im Säuglings- und Kindesalter

Inhalt

des anorektalen Kontinenzorgans	63
4.13a) Die Elektromyografie	64
4.13b) Der endoanale Ultraschall	65
4.13c) Die Kernspintomografie	68
4.13d) Die Computertomografie	72
4.13e) Das Defäkogramm	73
<u>5) Zusammenfassung</u>	75
<u>6) Anhang</u>	79
<u>7) Literatur</u>	101
<u>8) Danksagung</u>	113
<u>9) Lebenslauf</u>	114

1.1) Anatomie und Entwicklungsgeschichte des anorektalen Kontinenzorgans:

Kontinenz (lat. continere = zusammenhalten, zurückhalten [110]) ist eine Eigenschaft, wofür wir bereits zum Zeitpunkt der Geburt alle organischen Voraussetzungen besitzen, die willentliche Kontrolle über Stuhl und Urin müssen wir jedoch in den ersten Lebensjahren erlernen. Haben wir diese Fähigkeit in einem Alter von ca. 3-4 Jahren erworben, sind wir in der Lage, Stuhl und Urin willkürlich zurückzuhalten oder eine gewollte Entleerung vorzunehmen. Ein für uns selbstverständlicher Vorgang, welcher jedoch seit vielen Jahrhunderten Wissenschaftler in Bezug auf seine Funktionsweise bzw. die Anatomie des anorektalen Kontinenzorgans und seine Entwicklungsgeschichte fordert.

Die Kontinenz versteht sich neben der Defäkation und der Kolonmotilität als eine Säule der globalen anorektalen Funktion. Neben der motorischen Leistung der Sphinkteren – dem eigentlichen anorektalen Funktionsorgans, sind es passive Komponenten (z.B. venöser Plexus), intestinale Leistungen (z.B. Adaptation, Compliance, Reservoirfunktion), die Sensibilität (StuhlDranggefühl, Diskrimination), die zentralnervöse Leistung und die psychosoziale Umgebung, die in ihrer Gesamtheit die Kontinenz bestimmen [126].

Um die Funktionsweise des anorektalen Kontinenzorgans besser verstehen zu können, zunächst ein Überblick über die Aufteilung der Beckenbodenmuskulatur, wie sie in derzeit aktuellen Anatomieatlanten beschrieben wird [133]:

Der M. levator ani, welcher aus Ästen des Sakralmarkes III/IV innerviert wird, untergliedert sich in folgende Teilmuskeln, den M. pubococcygeus, den M. pubovaginalis (beim Mann M. levator prostatae), M. puborectalis und den M. iliococcygeus. Der Arcus tendineus muscoli levatoris stellt den Ursprung des M. levator ani dar, welcher von hier aus in den M. sphincter ani externus einstrahlt und zum Os sacrum und Os coccygis zieht. Das Rektum wird von dieser Muskelschlinge von hinten umfasst, lediglich ventral bleibt das so genannte Levator-Tor (Hiatus urogenitalis et ani) für den Durchtritt der Urethra (und der Vagina bei der Frau) ausgespart. Verstärkt wird der Beckenboden durch den M. coccygeus, dessen Fasern überwiegend mit dem Lig. sacrospinale verwachsen sind und von der Spina ischiadica zur Seitenfläche der unteren Kreuzbeinsegmente und des Steißbeines ziehen.

Als äußerer, quergestreifter Schließmuskel des Anus funktioniert der M. sphincter ani externus, welcher sich in eine Pars subcutanea, superficialis und profunda unterteilt. Die

nervale Versorgung erfolgt durch den N. pudendus. Der M. sphincter ani internus besteht dagegen aus glatten Muskelzellen und wird über den Sympathikus innerviert.

Als Schwellkörper besitzen die Columnae anales die Fähigkeit, den Analkanal luftdicht abzuschließen. Da sie zum Teil durch den Schließmuskel verlaufen, schwellen sie bei der Muskelkontraktion aufgrund des fehlenden venösen Blutabflusses stark an und bilden mit den Sinus anales ein perfektes Verschlusssystem.

Neben dem fein aufeinander abgestimmten Zusammenspiel der einzelnen Muskeln trägt des Weiteren der S-förmige Verlauf des Rektums zur Kontinenz bei. Durch die Krümmung des Mastdarms, welche durch den Zug der Levatorschlinge verstärkt wird, lastet die Stuhlsäule nicht auf dem Analkanal, sondern auf dem Beckenboden. Erst bei der Defäkation entspannt sich der M. levator ani, das Rektum richtet sich auf und die Stuhlsäule steht nun zur ungehinderten Entleerung über dem Analkanal (vergleiche Anhang, Abb. 1 bis 3, [133]).

Der Aufbau des anorektalen Kontinenzorgans und dessen Funktionsweise war jedoch keineswegs von Anfang an klar und deshalb Gegenstand jahrhundertelanger Forschung.

Die Arbeit von Oh und Kark [101] aus dem Jahr 1972 gibt einen Überblick, welche unterschiedlichen Ansichten über den muskulären Aufbau des analen Schließmuskels bzw. des M. sphincter ani externus in den letzten drei Jahrhunderten vorherrschten.

Bereits 1715 beschäftigte sich Santorini [118] mit der Anatomie bzw. des genauen Aufbaus des M. sphincter ani externus. Er ging ebenso wie v. Holl [57] und Thompson [154] von einer Unterteilung des Musculus sphincter ani externus in einen subkutanen, einen oberflächlichen und einen tiefen Anteil aus. In den darauf folgenden Jahrzehnten schlossen sich mit Milligan und Morgan [93, 94], Levy [86], Eaton [27], Wilde [164], Uhlenhuth [155], Gorsch [45, 46], Morgan und Thompson [95], Stelzner [140], Stonesifer, Murphy und Lombardo [143] und Wilson [167] eine Vielzahl von Anatomen und Wissenschaftler dem Prinzip des trilaminären Aufbaus des M. ani externus an. Auch die Arbeiten von Gabriel [41], Grant [49], Last [77], Buie [18], Bacon und Recio [7] und die in Gray's Anatomy [47] basierten auf dieser Einteilung.

Der Theorie des bilaminären Aufbaus schlossen sich dagegen Courtney [25], Goligher, Leacock und Brossy [43], Fowler [37], Walls [161], Goligher [44] und Lawson [83] an. In

ihren Augen erfolgte eine korrekte Einteilung des M. sphincter ani externus in einen subkutanen (oder auch oberflächlichen) und in einen tiefen Anteil.

Oh und Kark [101] nahmen diese unterschiedlichen Ansichten bezüglich des Aufbaus des Schließmuskels zum Anlass, im Rahmen einer wissenschaftlichen Arbeit an 48 Operations- bzw. Leichenpräparaten (21 weibliche, 27 männliche Präparate) die genaue mikroskopische und makroskopische Anatomie des externen Analsphinkters zu studieren. Es zeigte sich, dass der M. sphincter ani externus in seinen lateralen Anteilen einen engen Bezug zum M. puborectalis besitzt. Des Weiteren waren sowohl bi- als auch trilaminäre Strukturen im Aufbau des M. sphincter ani externus zu erkennen, so dass eine neue Terminologie mit den Begriffen „superficial compartment“ (subkutaner und oberflächlicher Sphinkter) und „deep compartment“ (tiefer Sphinkter und M. puborectalis) eingeführt wurde.

Außerdem beschrieben Oh und Kark [101] ein so genanntes „perineal body“, welches zwar bei Männern, nicht jedoch bei Frauen nachzuweisen war. Dahingegen war auffällig, dass bei Frauen im anterioren Bereich des M. sphincter ani externus eine trilaminäre Schichtung wie im lateralen und posterioren Sphinkteranteil nicht gefunden werden konnte.

Levi et al. [85] griffen in ihrer Arbeit von 1991 die Kontroverse bezüglich der Entwicklungsgeschichte der Analkanalmuskulatur auf und überprüften in Anlehnung an die klassische Arbeit von Hamilton und Mossman [51] an 18 menschlichen Embryonen und Föten im Alter zwischen 6 Wochen und 3 ½ Monaten Ursprung und Entwicklungszeitpunkt der analen Sphinktermuskulatur. Bisher wurde der Ursprung des M. sphincter ani externus entweder aus der Kloake [108, 142] oder gemeinsam mit dem M. levator ani [51, 68] gesehen. Levi et al. beschrieben, den M. levator ani in der 6. Embryonalwoche in Form von Promyelo- und Myeloblasten erkennen zu können [85]. Eine Woche später, in der 7. Embryonalwoche, erfolgt die Entwicklung der Kloake, welche sich im zweiten Monat in den „urogenitalic sphincter“ (anterior) und den M. sphincter ani externus (posterior) aufteilt. Im dritten Monat ist dann - übereinstimmend mit den Ergebnissen von Courtney, Goligher, Lawson sowie Oh und Kark [25, 43, 84, 101] - eine Unterteilung des M. sphincter ani externus in den tiefen und oberflächlichen Anteil nachzuvollziehen. Die glatte Analkanalmuskulatur, welche sich später als die quergestreifte Muskulatur entwickelt, ist ca. in der 9. Woche erstmals als ringförmiger, muskulöser Anteil zu erkennen. Dieser entwickelt sich bis zum dritten Monat zum M. sphincter ani internus weiter. Zusammengefasst bewies die Arbeit von Levi et al. den

gemeinsamen Ursprung von M. puborectalis (welcher als Teil des M. levator ani angesehen werden muss), M. iliococcygeus und M. pubococcygeus [85].

Auch Pena diskutierte in seiner Arbeit von 1987 die Anatomie und Funktionsweise des anorektalen Kontinenzorgans [105].

In seinen Augen muss die Anatomie, wie sie der Anatom sieht, nicht zwangsläufig übereinstimmen mit den anatomischen Strukturen, wie sie ein Chirurg beschreibt. Für den Wissenschaftler sei seiner Meinung nach jede anatomische Struktur von gleicher Wichtigkeit, der Chirurg orientiere sich eher nach für ihn in Bezug auf sein Operationsgebiet relevante Strukturen. Dies sei nach Pena bei der Durchsicht von wissenschaftlichen Publikationen zu bedenken [105]. Zum anderen ist er der Ansicht, dass eine exakte Unterscheidung der einzelnen Bereiche des M. sphincter ani externus aufgrund eines fließenden Übergangs in „paramedian fibers“ nicht möglich ist (siehe hierzu auch Anhang, Abb. 4, 5 und 6). M. pubococcygeus, M. puborectalis und M. ischiococcygeus bilden eine Einheit. Im Gegensatz zum M. sphincter ani externus spielt laut Pena der M. sphincter ani internus in Bezug auf die Kontinenz eine deutlich untergeordnete Rolle. So sind Kinder mit Analtresie, welche mit einer Durchzugsoperation versorgt wurden und somit keinen M. sphincter ani internus aufweisen, durchaus bis zu einem gewissen Grad kontinent. Das Ausmaß der Inkontinenz ist in seinen Augen abhängig von der (mangelnden) Ausbildung der willkürlichen Muskulatur, zusätzlichen Wirbelsäulenfehlbildungen im Sakralbereich und weiteren Malformationen.

1.2) Geschichte der Manometrie:

Heutzutage ist die Manometrie nicht mehr aus dem Bereich der Funktionsdiagnostik des Anorektums wegzudenken. Sie wird von zahlreichen Kollegen aus der Inneren Medizin, von Pädiatern, Gynäkologen, Allgemein- und Kinderchirurgen als Entscheidungskriterium bei der Planung chirurgischer Eingriffe, zur Überprüfung des operativen Ergebnisses und bei der Differenzierung organischer und nicht organischer Erkrankungen eingesetzt. Neben einer deutlichen Zunahme der Einsatzgebiete (Blasenmanometrie und Uroflowmetrie, Kolonmanometrie, Ösophagusmanometrie) ist ebenso ein deutlicher Wandel in der Entwicklung der verwendeten Messinstrumente/-katheter zu verzeichnen. Den Grundstein für

die heutige anorektale Manometrie legte bereits 1877 Gowers, welcher damals erste reflektorische Erschlaffungen des M. sphincter ani auf rektale Dehnung feststellte [48, 60]. Erste Ballonsondenmessungen am isolierten Kolon des Hundes erfolgten 1900 durch Bayliss und Starling [9]. In den darauf folgenden Jahrzehnten verwendete man eine Vielzahl unterschiedlichster Systeme: großvolumige Einzelballonsysteme [159], kleine, in Serie geschaltete Miniaturballonsysteme [82, 125], an der Spitze offene, wassergefüllte oder perfundierte Katheter [60, 122] und schließlich Mikrotransducer [14, 52, 87, 123, 158].

Der Begriff Vektorvolumen, welcher den gemessenen Druck in Bezug zu einer bestimmten Messstrecke setzt, wurde erstmals 1987 in der Arbeit von Bombeck et al. über die Ösophagusmanometrie und deren Fähigkeit zur Beurteilung des Erfolges von Antirefluxplastiken erwähnt [15]. Im Laufe der nächsten Jahre wurde die Entwicklung von diesen Mehrkanalkathetern enorm vorangetrieben. So ist es heutzutage möglich, z. B. mit Hilfe eines 8-Kanal-Katheters in Verbindung mit einem PC und moderner Software ein Vielfaches an präzisen Daten zu gewinnen und weiterzuverarbeiten als es noch vor wenigen Jahrzehnten denkbar gewesen wäre.

1.3) Zielsetzung dieser Arbeit

Trotz der schnell fortschreitenden Entwicklung der Manometrie - auch aus kinderchirurgischer Sicht - fehlen bis heute Normwerte für elektromanometrisch zu messende Parameter bei Säuglingen und Kleinkindern. Ziel dieser Arbeit ist es, in Anlehnung an bereits in der Pädiatrie existierenden altersabhängigen Wachstumskurven für Körpergröße, Gewicht, Kopfumfang etc. Normalwerte für die Analkanallänge, Länge der Hochdruckzone, Höhe der Ruhe- und Willkürdrücke u.a.m. bei Kindern aller Altersstufen zu erstellen und so die Interpretation der Untersuchungen von Kindern mit bestimmten anorektalen Pathologien wie analer Inkontinenz, ektopen Anus, stattgehabten Korrekturoperationen nach Analatresie (Durchzugsoperation, Gracilisplastik etc.), Analsphinkterdefekte nach Pfählungsverletzungen etc. durchführen zu können.

Bezug nehmend auf die Arbeiten von Oh und Kark, Pena, Shafik, De Vries und Friedland wird die 1-Kanal-Profilometrie den Anforderungen eines in radialer und axialer Richtung

asymmetrischen Analkanals nicht gerecht [101, 105, 130, 160]. Da die 8-Kanal-Manometrie eine dreidimensionale Darstellung der Druckverhältnisse in der Sphinkterregion ermöglicht, wird im Rahmen dieser Studie ein besonderes Augenmerk auf das Symmetrieverhalten und die qualitative Beurteilung der Druckverteilung innerhalb der einzelnen Abschnitte des Kontinenzorgans gelegt. Dies ist neben der Überprüfung des Erfolgs eines konservativen Therapieansatzes [98] nicht zuletzt auch im Hinblick auf die Planung eines Operationsverfahrens und der anschließenden Qualitätskontrolle von Bedeutung [12, 13, 168].

2) Material und Methodik

2.1) Aufbau des Messplatzes

Der Messplatz bestand aus einer Untersuchungsliege, den im folgenden Text näher beschriebenen 8-Kanal-Perfusionskathetern, einer automatischen Katheterrückzugmaschine, einer Wasserdruckpumpe, einem Druckumwandler und einem PC-Arbeitsplatz mit Bildschirm, Rechner, Tastatur und Farbdrucker.

Die Messungen erfolgten mit einem 8-Kanal-Perfusionskatheter der Firma Medtronic (Synectics Medical, Inc. Z 1909) mit einem Außendurchmesser von 4,5 mm und einer Gesamtlänge von 190 cm. Alle acht Kanäle mündeten 5 cm proximal der Sondenspitze in seitliche Öffnungen (auf einer Höhe radiär in 45°-Abständen angeordnet). Kanal 1 ist durch eine longitudinal verlaufende Linie entlang des Katheters gekennzeichnet. Definitionsgemäß wurde der Katheter so eingeführt, dass Kanal 1 bei dem sich in Rückenlage befindlichen Probanden dorsal zu liegen kam (Kanal 1 entspricht 6.00 Uhr Steinschnittlage = SSL).

Die Katheterperfusionsmenge betrug insgesamt 2,8 ml/min, also 0,35 ml pro Kanal und Minute, zur Perfusion des Katheters wurde steriles Wasser (Viapur® Spüllösung) verwendet. Jeder einzelne Kanal des Katheters ist über so genannte Druckdome mit der 8-Kanal-Wasserdruckpumpe (MUI, serial number MS 4-1265, model no PIP-4-8, volts 220 AC-DC:AC, Amps 2, Hertz 50, compressor KPa 300/44 psi, water chamber 50-70 Kpa/6-8 psi) verbunden. Die gemessenen Drücke werden weitergeleitet an den Analogdigitalwandler (Synectics PC Polygraf HR). Zur Auswertung der Messdaten diente die Software Polygram Lower GI, Version 6.40 (c 87-95 Gastrosoft Inc., Seriennummer p 7111).

Am zentralen Lumen wurde zur erleichterten Reinigung des Katheters ein 3-Wege-Hahn angebracht, um mit einer Hochdruckpistole (Selecta <Stöckert>-Record DBGm Nr. 1769534) sowohl alle acht Kanäle als auch den Zentralkanal spülen zu können. Es erfolgte somit eine erste mechanische Reinigung des Messinstruments, um Messartefakte durch grobe Verschmutzungen des Katheters und seiner Perfusionsöffnungen auszuschließen. Nach dieser

mechanischen Reinigung wurde der Katheter nach jedem Probanden für mindestens 15 Minuten in eine 2,5% Aseptisol®-Lösung eingelegt und nochmals alle Lumina mit dieser Desinfektionslösung gespült. Nach der durch den Hersteller der Desinfektionslösung vorgegebenen Einwirkzeit erfolgte eine abschließende Spülung mit klarem Leitungswasser, um letzte Rückstände der Desinfektionslösung aus dem Katheter zu entfernen.

Die bereits erwähnte automatische Zugmaschine mit individuell regelbarer Zuggeschwindigkeit (Synectics catheter puller S/N 11870) wurde auf eine Rückzugsgeschwindigkeit von 2,5 mm/s eingesellt und sollte somit bei jedem Probanden einen konstanten Rückzug des Katheters aus dem Rektum garantieren.

2.2) Kathetereichung und Vorbereitung der Probanden

Zu Beginn eines jeden Messtages erfolgten bei laufender Perfusion eine so genannte obere Eichung der Messeinheit bei 37 mmHg (entsprechend 50 cm Wassersäule) und eine untere Eichung in Höhe der Druckdome. Vor jeder individuellen Messung führten wir eine dritte Eichung in Höhe des Analkanals des jeweiligen Probanden durch (Nulllinienabgleich).

Alle Probanden wurden in Rückenlage gemessen, auf eine spezielle Vorbereitung des Darms in Form eines Einlaufes oder Klistiers verzichteten wir ebenso wie auf jegliche Sedativa zur Ruhigstellung der Säuglinge und Kinder.

2.3) Anfertigung eines speziellen Babykatheters

Noch vor Beginn der eigentlichen Studie fiel bei Probemessungen auf, dass sich die korrekte Platzierung des Katheters im Analkanal bei einer Reihe von Säuglingen schwierig gestaltete, da die Katheterspitze bereits an der Wand der Ampulla recti anstieß, bevor der druckaufnehmende Anteil des Katheters im Rektum zu liegen kam. Da dies die Kinder nicht tolerierten, fertigte die Firma Synectics nach unseren Vorgaben einen speziellen „Baby-Katheter“ an (G-98-3142, SN 11-25-571, Lot Z 2522, Spezialanfertigung). Hierbei handelte es sich um einen, dem bisherigen Messinstrument nahezu identischen wasserperfundierten 8-

Kanal-Katheter, welcher jedoch einen deutlich verminderten Abstand der druckaufnehmenden Einheit von der Katheterspitze aufwies (lediglich 8 mm anstatt 5 cm). Darüber hinaus konnte zusätzlich der Außendurchmesser von 4,5 mm auf 4,0 mm reduziert werden.

Der Kanal 1 wurde ebenso mit einer longitudinal verlaufenden Linie gekennzeichnet, auch die Graduierung in 1-cm-Abständen war identisch (siehe Anhang, Abb. 7: Standard-8-Kanal-Perfusionskatheter und Spezialanfertigung für Säuglinge im Vergleich).

2.4) Auswahl der Probanden

Alle Kinder und Jugendliche unterzogen sich den manometrischen Messungen freiwillig während eines Klinikaufenthaltes aufgrund einer nicht den Darm betreffenden Erkrankung (z.B. Frakturen der Extremitäten, Tonsillektomiepatienten, etc.) oder folgten einem privaten Aufruf innerhalb des Freundeskreises und eines Sportvereins. Zu Beginn wurde ein ausführliches Gespräch mit den Eltern und/oder den Jugendlichen geführt, in welchem nach Stuhlgewohnheiten, früheren, den Gastrointestinaltrakt betreffenden Erkrankungen und Operationen gefragt und der Untersuchungsablauf erklärt wurde. Um zu zeigen, dass es sich um eine nicht invasive Untersuchungsmethode handelt, wurde der Vergleich mit einer mehrmaligen rektalen Messung der Körpertemperatur mittels eines gewöhnlichen Fieberthermometers herangezogen. Lagen nach diesem Gespräch keine Ausschlusskriterien wie zum Beispiel bekannte chronische Obstipation, M. Hirschsprung und andere enterale Innervationsstörungen bzw. bereits erfolgte Operationen im anorektalen Bereich etc. vor und stimmten die Eltern/die Jugendlichen der Teilnahme ausdrücklich zu, wurde das Kind/der Jugendliche bei inspektorisch unauffälligem Anus in die Studie aufgenommen.

2.5) Alters- und Geschlechtsverteilung der ausgewählten Probanden

Insgesamt nahmen 93 Probanden unterschiedlichen Alters an der Studie teil. Die jüngsten Kinder waren erst wenige Tage alt, die Ältesten fast volljährig. Daher erfolgte eine nach dem Alter gestaffelte Einteilung der Probanden in sieben verschiedene Altersgruppen.

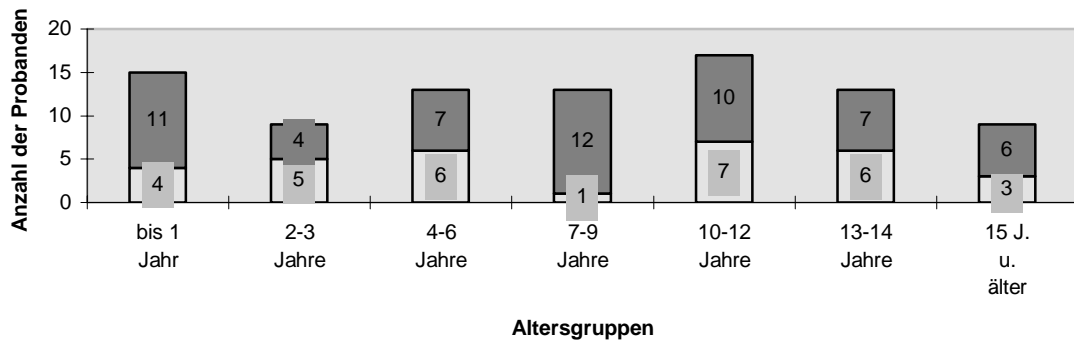


Abb. 8: Anzahl und Geschlechtsverteilung der Probanden in den einzelnen Altersgruppen (Mädchen hellgrau, Jungen dunkelgrau)

In der Gruppe I wurden alle Säuglinge bis zu einem Jahr zusammengefasst, in Gruppe II alle zwei- und dreijährigen Kinder. Gruppe III bildeten Vorschulkinder im Alter von vier bis sechs Jahren. Schulkinder wurden aufgeteilt in die Gruppen IV (Sieben- bis Neunjährige), Gruppe V (Zehn- bis Zwölfjährige), Gruppe VI (Dreizehn- und Vierzehnjährige) und Gruppe VII (Fünfzehnjährige und ältere Probanden).

In den Gruppen II, III, V und VI konnte annähernd eine gleiche Geschlechtsverteilung erreicht werden, in den übrigen Gruppen überwogen die Jungen.

Um in Anlehnung an die bereits in der Pädiatrie bestehenden Perzentilen für Körpergröße, Gewicht, Kopfumfang etc. bezogen auf das Alter und das Geschlecht eines Kindes eine erleichterte Alterszuordnung der Messergebnisse treffen zu können, erfolgte zunächst eine Einteilung des Alters der Probanden in einzelne Altersgruppen. Darüber hinaus schien für bestimmte Messparameter ein genaueres Splitting der Messergebnisse sinnvoll, und so wurde daher bei speziellen Fragestellungen eine Umrechnung des Alters von Jahren in Tagen vorgenommen.

2.6) Untersuchungsablauf

Bei jedem Probanden wurden drei Ruhe- und drei Willkürdurchzüge erstellt. Die Durchführung der Messungen in Ruhe erfolgte bei größtmöglich entspannten Probanden, jedoch stets ohne Einsatz von Sedativa. Bei den Willkürdurchzügen zogen wir bei Säuglingen und Kleinkindern spontane Kontraktionen des Kontinenzorgans zur Messung heran, welche an der Form des Druckkurvenverlaufs (wie aus der 1-Kanal-Manometrie bekannt) erkennbar waren. Ältere Kinder und Jugendliche erhielten, sobald der auf dem Bildschirm ansteigende Druckkurvenverlauf den Beginn des funktionellen Sphinkterapparats signalisierte, das Kommando, den „Po“ so fest als möglich zusammenzukneifen. Dabei sollte jedoch darauf geachtet werden, nicht die Pobacken zu Hilfe zu nehmen und das Gesäß ruhig auf der Untersuchungsfläche zu belassen.

Um diese Anweisungen verstehen und umsetzen zu können, müssen die Kinder ein gewisses Alter erreicht haben. Die Erfahrung zeigte, dass ein Kind, welches seit längerem „sauber“ ist und somit die Kontrolle über das Kontinenzorgan erlernt hat, diesen Aufforderungen gut Folge leisten kann. Dies ist etwa ab einem Alter von 4 Jahren der Fall.

2.7) Markierung der Durchzüge mit den Ereignissen R (= resting) und S (= squeeze)

Die erste der folgenden Abbildungen (siehe Anhang, Abb. 9) zeigt einen Ruhedurchzug unmittelbar nach erfolgter Messung. Noch befindet sich die Basislinie eines jeden Kanals bei 0 mmHg (durchgehende Linie).

Vor der eigentlichen Auswertung eines Durchzugs wurde sie zu Beginn demjenigen Druck angepasst, welcher unmittelbar vor dem erkennbaren Druckanstieg gemessen wurde, entsprechend dem intrarektalen Druck, dem Basisliniendruck (vgl. 2.10a). Dies erfolgte für alle acht Kanäle, wobei jeder individuell nachbearbeitet werden konnte (siehe Anhang, Abb. 10).

Mit Hilfe von vertikalen Cursors wurde anschließend das Durchzugsprofil seitlich begrenzt. Dazu wurden seitlich der Druckkurve vertikale Cursors an den Beginn des Druckkurvenanstiegs und an das erneute Erreichen des Basisliniendrucks nach Abfall des Drucks gesetzt (siehe Anhang, Abb. 11). Differierten die einzelnen Kanäle zu stark

voneinander, so dass eine Mittelung des Druckanstiegs und -abfalls notwendig war, wurde von der Mitte eines jeden Durchzugs an die seitliche Begrenzungen der Profile herangegangen und jeweils der vierte Kanal, der die horizontale Linie des angeglichenen Basisliniendrucks kreuzte, genommen, um dort die Markierung des Druckprofils mit dem Ereignis R (= resting) oder S (= squeeze) zu setzen (siehe Anhang, Abb. 12). Da - wie bereits erwähnt - eine Unterscheidung des gemessenen Ereignisses in der Regel anhand des Druckkurvenverlaufs getroffen werden kann, ist die Markierung der Ereignisse auch nach der eigentlichen Messung möglich. In der Praxis kann somit die Markierung der Ereignisse auch von einer Person, die bei der Messung selbst nicht anwesend war, vorgenommen werden.

2.8) Softwaregestützte Umwandlung der Durchzugsprofile in dreidimensionale Grafiken

Nach der Markierung der Ereignisse erfolgte die softwaregestützte Umwandlung des zweidimensionalen Durchzugprofils in ein dreidimensionales Drahtgittermodell. Jeder einzelne Druck der acht Kanäle wurde dabei von einer zentralen Achse dem Analkanal entsprechend ausgehend als Vektor aufgetragen. Die Länge des Vektors wird dabei durch die Höhe des gemessenen Drucks definiert. Bei acht Vektoren, welche in 45°-Winkeln zueinander stehen, entsteht so die Fläche eines Oktaeders. Da jeder Vektor und damit die Größe des gemessenen Drucks jedem einzelnen Kanal zugeordnet werden kann, gewinnt der Untersucher Information über die Druckverteilung innerhalb dieser Fläche entsprechend eines bestimmten Segments des Analkanals. Dies ist für die spätere Beurteilung der (A-)/Symmetrieverhältnisse von großer Bedeutung.

Das Programm von Synectics® erlaubt die Einstellung verschiedener Systemkonstanten. Bei einer Durchzugsgeschwindigkeit von 2,5 mm pro Sekunde erhält man bei einer Abtastfrequenz von 16 Hz 6,4 Messwerte pro Kanal und mm Messstrecke. Somit ergeben sich z.B. für einen Analkanal von 2,5 cm Länge 1280 Messdaten. Um einen besseren Überblick zu behalten, werden vom Programm in 2 mm-Schritten lediglich gemittelte Werte angezeigt.

Nach erfolgter softwaregestützter Umwandlung vom zweidimensionalen Bild in die dreidimensionale Grafik erhält man folgende Bildschirmoberfläche (siehe Anhang, Abb. 13 und 14):

Die Darstellung des radialen Segments auf der rechten Bildschirmseite erhält man nach Übertragung einer von der auswertenden Person bestimmten einzelnen „Scheibe“ (= Segment) auf einen „idealen Kreis“. Kanal 1 kommt in diesem Kreis gemäß der Platzierung des Katheters im Rektum des Probanden dorsal zu liegen, also bei 6.00 Uhr Steinschnittlage (siehe auch 2.1). Die Kanäle 2 bis 8 werden im Uhrzeigersinn entsprechend positioniert.

Der innerste Kreis der „Zielscheibe“ entspricht einem Druck von 50 mmHg, jeder weiter peripher gelegene Ring stellt eine Zunahme des Drucks um 50 mmHg dar. Der äußerste Ring markiert die 200 mmHg-Grenze.

Die verwendeten Farben geben den prozentualen Anteil des Drucks am maximal gemessenen Druck eines Durchzugs wieder (schwarz = 0-25%, grün = 25-50%, blau = 50-75% und rot = 75-100%). Neben der grafischen Darstellung der Druckverteilung werden die einzelnen Drücke der Kanäle und der Segmentmitteldruck auch als Absolutwerte in mmHg angegeben (siehe auch 2.10d).

2.9) Auswertung der Durchzugsprofile

Zur Auswertung wurde letztendlich jener Ruhe- bzw. Willkürdurchzug herangezogen, welcher beim Durchsehen der einzelnen dreidimensionalen Grafiken den niedrigsten bzw. den höchsten Segmentmitteldruck aufwies.

2.10) Erläuterung der untersuchten Parameter

2.10a) Der Basisliniendruck

Der Basisliniendruck ist derjenige Druck, der nach Einführen des Katheters in das Rektum gemessen wird und bei der Berechnung und Auswertung der Druckprofile eine sphinkterbedingte Druckzunahme gegenüber dem Rektumruhedruck darstellt.

Der Katheter wurde zunächst proximal des Sphinkterbereichs im distalen Rektum der Kinder platziert (beim Einführen kann man das Passieren des Schließmuskelbereichs an einem kurzen Druckanstieg und -abfall auf dem Bildschirm beobachten) und dort für ca. 30

Sekunden zur Adaptation des Darms an den Fremdkörper belassen. Pendelten sich die Drücke in allen acht Kanälen auf einen konstanten Wert ein und ergaben sich auf dem Bildschirm gleichmäßige horizontale Linien, wurde mit der Durchführung der Messung begonnen.

Der Basisliniendruck ist also der durchschnittlich gemessene Druck im Enddarm unmittelbar proximal des Kontinenzorgans (Summe der Messergebnisse aller acht Kanäle dividiert durch die Anzahl der Kanäle). Die Einheit des Basisliniendrucks beträgt mmHg.

2.10b) Die Länge des Sphinkters (= chirurgischer Analkanal)

Die Sphinkterlänge entspricht der Länge des Druckprofils, d.h. wie bereits bei Punkt 2.10a) erläutert, der Länge der sphinkterbedingten Druckzunahme gegenüber dem Rektumruhedruck. In Bezug auf das dreidimensionale Drahtgittermodell entspricht die Sphinkterlänge der Gesamtlänge der Grafik.

Die Länge des Sphinkters kann sowohl aus einem einzelnen Durchzug als auch aus dem Mittelwert mehrerer Durchzüge des gleichen Ereignistyps errechnet werden. Die Sphinkterlänge wird in mm angegeben.

2.10c) Die Hochdruckzone

Als Hochdruckzone ist derjenige Abschnitt des Analkanals (der Begriff „Analkanallänge“ findet synonyme Verwendung mit der Bezeichnung „Sphinkterlänge“) definiert, in welchem der ermittelte Druck 50% und mehr des maximalen Segmentmitteldrucks beträgt. Hat man beispielsweise für einen Ruhedurchzug einen maximalen Segmentmitteldruck von 80 mmHg erhalten, so zählt definitionsgemäß derjenige Bereich des Analkanals zur Hochdruckzone, in welchem Segmentmitteldrücke von 40 mmHg und darüber gemessen werden. Die Hochdruckzone kann als Absolutwert in mm oder als prozentualer Anteil der Sphinkterlänge angegeben werden.

2.10d) Der maximale Segmentmitteldruck

Wie bereits unter 2.7 erklärt, gewinnt der Untersucher bzw. Auswerter aufgrund der während der Messung definierten Positionierung des Katheters im Analkanal und der somit möglichen Zuordnung der gemessenen Drücke zu den einzelnen Kanälen einen Eindruck über die Druckverteilung im gesamten Analkanal.

Darüber hinaus ermöglicht das Programm die Berechnung des maximalen Segmentmitteldrucks, d.h. den Mittelwert (= Summe der Drücke der Kanäle 1 bis 8 dividiert durch die Anzahl der Kanäle) aller acht gemessenen Druckwerte innerhalb eines definierten Sphinkterabschnittes (synonym Analkanalabschnitt).

Zur Berechnung bzw. Auswertung des maximalen Segmentmitteldrucks wurde nun für jeden Ruhe- bzw. Willkürdurchzug jenes Segment herangezogen, welches beim Durchsehen aller Segmente einer dreidimensionalen Grafik den höchsten Segmentmitteldruck aufwies. Dies wurde als maximaler Segmentmitteldruck in Ruhe bzw. bei Willkür definiert.

Da bei jedem Kind bzw. Jugendlichen sowohl drei Ruhe- als auch drei Willkürdurchzüge gemessen wurden, erfolgte zunächst der Vergleich der Messergebnisse der einzelnen Durchzüge miteinander. Für die Auswertung wurde dann bei den Ruhedurchzügen der Durchzug mit dem niedrigsten maximalen Segmentmitteldruck und bei den Willkürdurchzügen der Durchzug mit dem höchsten maximalen Segmentmitteldruck herangezogen.

2.10e) Entfernung des maximalen Segmentmitteldrucks von anokutan (Linea dentata)

Die Entfernung des Segments mit dem maximalen Segmentmitteldruck vom Anus wird in dem Feld „Status“ (siehe Anhang, Abb. 13 und 14) mitgeteilt, die Einheit beträgt mm. Als Bezugspunkt zur Berechnung der Entfernung gilt das Ende des Druckprofils, zu erkennen in der Manometrie am Absinken des gemessenen Drucks unterhalb des korrigierten Basisliniendrucks bzw. auf negative Werte. Dies ist zu beobachten, sobald der die Öffnungen der Druckkanäle tragende Bereich des Katheters den Analkanal verlässt.

2.10f) Das Vektorvolumen

Das Vektorvolumen errechnet sich ausgehend von den einzelnen Oktaedern, welche in je acht Dreiecke zerlegt werden. Die Vektoren, welche für die gemessenen Drücke stehen, bilden dabei zwei der drei Seiten des Dreiecks. Sind die Drücke zweier benachbarter Kanäle genau identisch, entsteht ein gleichschenkliges Dreieck. Je größer die Druckdifferenz, desto mehr entfernt sich das Dreieck vom gleichschenkligen Typ. Berechnet man nun nach der Dreiecksflächenberechnung die Fläche eines jeden einzelnen der acht Dreiecke und addiert diese, so erhält man die Fläche eines Segments. Diese wird anschließend mit der Segmentdicke - hier 2 mm- multipliziert. Das Vektorvolumen entspricht dann der Summe aller Segmentvolumina eines Durchzugs.

2.10g) Asymmetrieindizes und qualitative Beurteilung der Druckverteilung

Da eine exakte Zuordnung der Messwerte zu den einzelnen definiert im Analkanal lokalisierten Kanälen erfolgt, ist eine Aussage über dorsale, ventrale sowie links- bzw. rechtslaterale Druckmaxima oder -minima möglich.

Weisen alle acht Kanäle innerhalb eines Segments annähernd denselben Druck auf, so erhält man einen nahezu perfekten Oktaeder und somit eine geringe Segmentasymmetrie. Misst man jedoch an einem oder mehreren Kanälen Druckwerte, die von den übrigen vergleichbaren Werten stark nach oben oder unten abweichen, entfernt sich das Achteck immer mehr vom idealen Oktaeder und die Segmentasymmetrie nimmt zu. Der Wert der Segmentasymmetrie ergibt sich rechnerisch aus der durchschnittlichen prozentualen Abweichung der Druckwerte der einzelnen Kanäle vom jeweiligen Segmentmitteldruck.

Neben der Auflistung der einzelnen Druckwerte, welche pro Kanal gemessen werden, vermittelt das Programm auch rein optisch mit Hilfe von vier verschiedenen Farben die Druckverteilung innerhalb eines Segments (vgl. 2.8). So kann also allein durch das qualitative Beurteilen der dreidimensionalen Figur oder eines einzelnen Segments erkannt werden, wo Druckminima und -maxima vorliegen, sowohl in axialer Richtung (proximal, distal etc.) als auch in radialer Richtung (links- bzw. rechtslateral, dorsal, ventral etc.).

2.10h) Die Gesamtsymmetrie

Neben den Asymmetrieindizes der einzelnen Segmente errechnet das Programm zusätzlich die so genannte Gesamtsymmetrie eines Ruhe- oder Willkürdurchzugs. Diese errechnet sich aus der Summe der Segmentasymmetrien dividiert durch die Anzahl der einzelnen Segmente.

2.11) Statistik

Im Rahmen der statistischen Auswertung der erhobenen Messdaten erfolgte die äußere Beschreibung einer Stichprobe unter Angabe der Stichprobengröße, der Maximal- und Minimalwerte, des Mittelwertes sowie die Berechnung der Standardabweichung. Zur Beschreibung der Korrelation zweier Variablen wurde der Pearson'sche Korrelationskoeffizient (= Abhängigkeitsmaßzahl für den linearen Zusammenhang zweier quantitativer Merkmale) herangezogen. Der Korrelationskoeffizient r bewegt sich im Intervall zwischen -1 und $+1$. Zwischen 0 und $+1$ spricht man von einer positiven Korrelation, zwischen -1 und 0 von einer negativen Korrelation. Je näher der errechnete Koeffizient an -1 bzw. $+1$ liegt, desto stärker ist die vorliegende Korrelation. Zur Berechnung des statistischen Unterschieds zwischen den Stichproben wurde der Kruskal-Wallis-Test verwendet bei einem Konfidenzintervall von 95% ($p =$ bzw. $< 0,05$).

3) Ergebnisse:

Bei vier der insgesamt 93 Kindern und Jugendlichen (4,3%) waren aufgrund technischer Probleme wie fehlerhafte Eichung, mangelnde Perfusion, Ansammlung von Luftblasen in den Druckdomen bzw. probandenbezogener Schwierigkeiten (sehr unruhiger Säugling, der die Messung nicht tolerierte) die Messergebnisse nicht verwertbar bzw. musste die Untersuchung abgebrochen werden. Da die Kinder freiwillig an der Studie teilnahmen und keine medizinische Indikation vorlag, verzichteten wir auf eine Wiederholung der Messung. Eine erneute Durchführung der 8-Kanal-Manometrie wäre jedoch aufgrund der nicht invasiven Untersuchungsmethode ohne weiteres zu vertreten gewesen.

Bei den verbleibenden 89 Probanden konnte bei 72 Kindern (80,9%) mindestens ein Ruhe- und Willkürdurchzug gemessen und zur Auswertung herangezogen werden. Bei 13 Kindern (14,6%) waren lediglich Ruhedurchzüge gewonnen worden, was hauptsächlich an der mangelnden Mitarbeit bzw. noch fehlendem Verständnis für das Kommando „Kneifen“ in den Altersgruppen I und II lag.

Da eine Reihe von Kindern (vor allem Kleinkinder und Säuglinge) beim Einführen des Katheters mit einer reflexartigen Betätigung des Schließmuskels reagierten und eine völlige Entspannung anschließend nicht zu erreichen war, verblieben vier Kinder (4,5%), bei denen lediglich Willkürdurchzüge gemessen werden konnten.

3.1) Der Basisliniendruck

Bei allen Probanden lag der Basisliniendruck zwischen 10 und 16 mmHg. Bei der Gruppe der Säuglinge und Kleinkinder bis zu drei Jahren fiel ein sowohl in Ruhe als auch bei Willkür geringfügig, jedoch nicht signifikant ($p > 0,05$) höherer Basisliniendruckbereich im Vergleich zu allen anderen Altersgruppen auf.

Des Weiteren zeigte sich, dass bei den jüngsten Kindern (Altersgruppe I und II) und nur in diesen beiden Altersgruppen der Basisliniendruck in Ruhe etwas, jedoch nicht signifikant ($p > 0,05$) niedriger war als der Basisliniendruck bei Willkür. Bei allen älteren Kindern lagen umgekehrte Verhältnisse vor, der Basisliniendruck war bei den Willkürmessungen niedriger als in Ruhe ($p > 0,05$, somit auch hier kein signifikanter Unterschied).

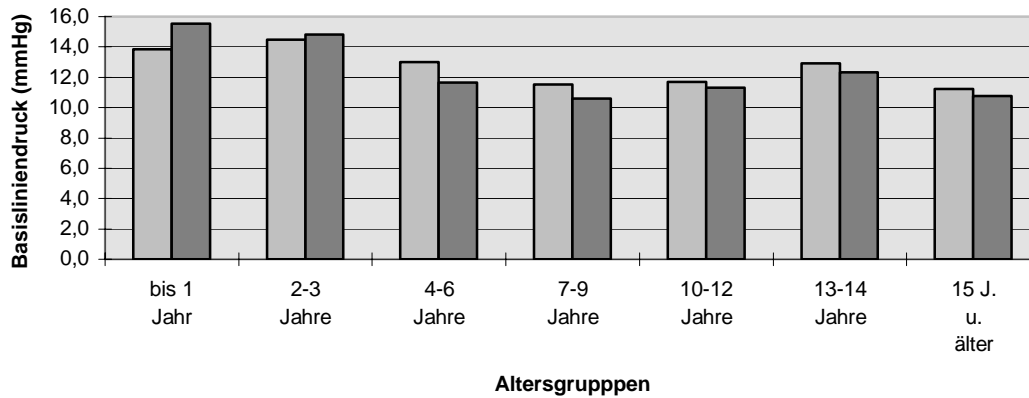


Abb. 15: Basisliniendruck in Ruhe (hellgrau) und bei Willkür (dunkelgrau)

3.2) Die Länge des Sphinkters (= chirurgischer Analkanal)

Für die Sphinkterlänge ergaben sich folgende Ergebnisse bei den Ruhe- bzw. Willkürdurchzügen, zunächst bezogen auf die in mehreren Jahrgängen zusammengefassten Altersgruppen:

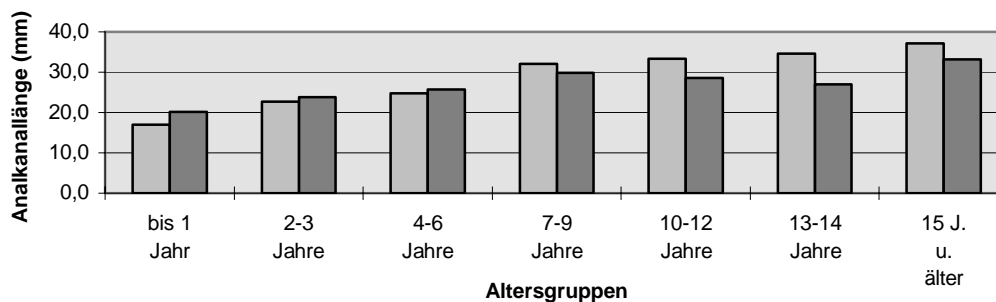


Abb. 16: Analkanallänge in Ruhe (hellgrau) und bei Willkür (dunkelgrau)

In den Altersgruppen I-III war die Analkanallänge beim Kneifen geringfügig (nicht signifikant, $p > 0,05$) länger als in Ruhe. Ab der Altersgruppe der sieben- bis neunjährigen Kinder war die Länge des Analkanal bei den Willkürdurchzügen in der Regel etwas geringer als bei den Messungen in Ruhe (mit $p < 0,05$ signifikanter Unterschied zwischen der Analkanallänge in Ruhe und bei Willkür nur in der Gruppe der 13- und 14-jährigen Probanden, nicht signifikant für die Gruppen IV, V und VII).

Um die Korrelation der Ruhe- bzw. Willkür-Analkanallänge mit dem jeweiligen Alter der Probanden feststellen zu können, erfolgte die Umrechnung des Alters der Säuglinge, Kinder und Jugendlichen von Jahren in Tage und anschließend die Darstellung der Messergebnisse in einem so genannten Korrelationsdiagramm.

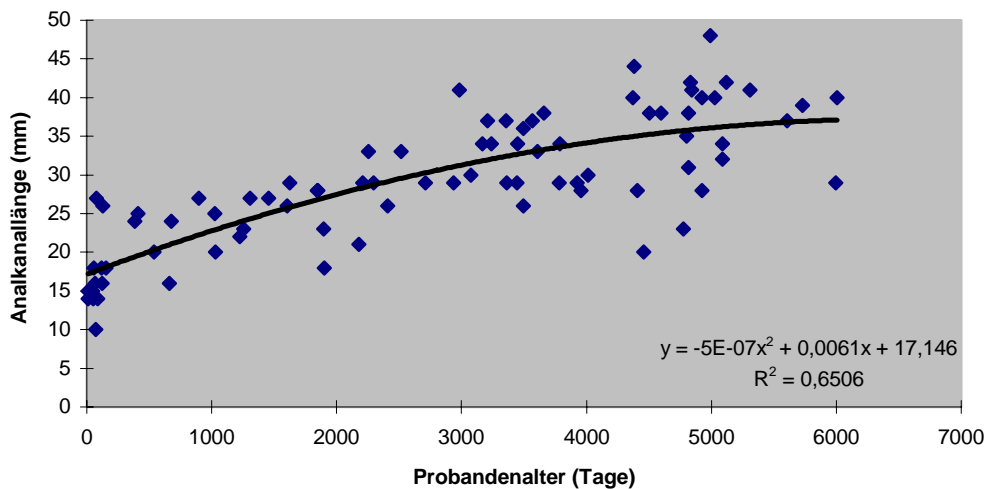


Abb. 17: Analkanallänge in Ruhe, weibliche und männliche Studienteilnehmer

Die Formel, welche in der rechten, unteren Diagrammhälfte aufgeführt ist, erklärt die Berechnung der Trendlinie, welche durch die einzelnen Punkte gelegt wurde. Die Korrelation der Sphinkterlänge mit dem Alter der Probanden betrug $R^2 = 0,6506$.

Mit den Messergebnissen der Willkürdurchzüge wurde ebenso verfahren, es ergab sich folgendes Korrelationsdiagramm:

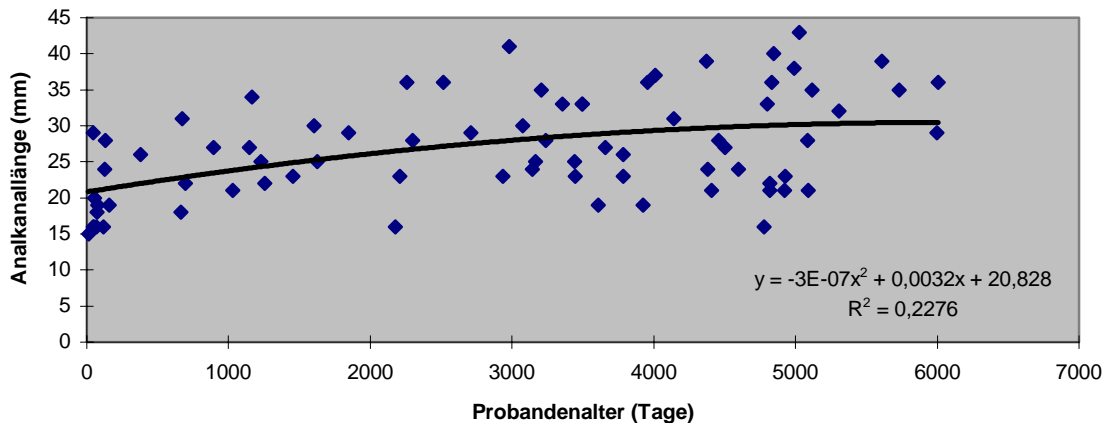


Abb. 18: Analkanallänge bei Willkür, weibliche und männliche Studienteilnehmer

Im Vergleich zu den Ruhemessungen war die Korrelation der Spinkterlänge beim Kneifen mit dem Alter der Kinder mit $R^2 = 0,2276$ deutlich geringer.

Des Weiteren wurde untersucht, ob zwischen dem weiblichen und männlichen Geschlecht unterschiedliche Spinkterlängen bestehen (siehe auch 4.6 im Diskussionsteil). Hierzu wurden innerhalb der einzelnen Altersgruppen zunächst die Ruheanalkanallängen der Mädchen (hellgrau) und der Buben (dunkelgrau) verglichen.

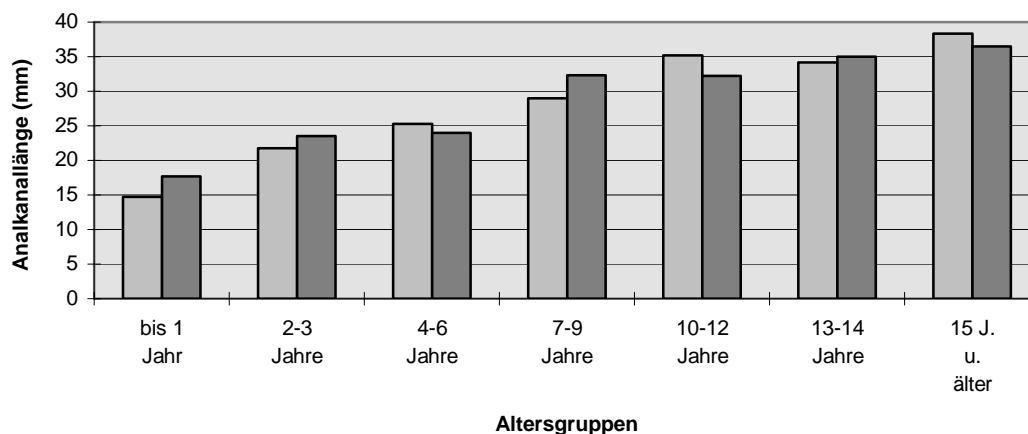


Abb. 19: Analkanallänge in Ruhe - Mädchen (hellgrau) und Buben (dunkelgrau) im Vergleich

Die Messungen belegten für die Buben eine größere Ruhe-Analkanallänge in den Altersgruppen I, II, IV und VI. Bei den vier- bis sechsjährigen Kindern, in der Gruppe der Zehn- bis Zwölfjährigen und in der Altersgruppe der Fünfzehnjährigen und älteren

Jugendlichen wiesen die weiblichen Probanden eine größere Analkanallänge in Ruhe auf. Insgesamt lag- bei eingeschränkter Aussagekraft aufgrund der ungleichmäßigen Geschlechtsverteilung insbesondere in den Gruppen I, IV und VII- jedoch in keiner der sieben Altersgruppen ein signifikanter Unterschied zwischen der Ruhe-Analkanallänge der Mädchen und der Buben vor ($p > 0,05$).

Abb. 20 zeigt die Ergebnisse der Willkürdurchzüge. In allen Altersgruppen zeigten die Buben während der aktiven Betätigung des anorektalen Kontinenzorgans eine größere Analkanallänge als die Mädchen. Signifikant war dieser Unterschied jedoch lediglich in der Altersgruppe der Säuglinge, der Zwei- und Dreijährigen sowie der zehn- bis zwölfjährigen Kinder ($p < 0,05$).

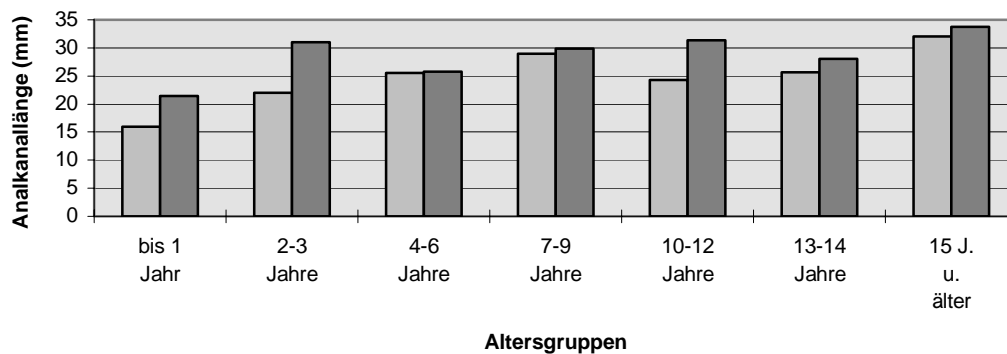


Abb. 20: Analkanallänge bei Willkür - Mädchen (hellgrau) und Buben (dunkelgrau) im Vergleich

3.3) Die Hochdruckzone

Die Hochdruckzone kann als Absolutwert in mm oder als prozentualer Anteil der Analkanallänge angegeben werden. Abb. 21 zeigt die Ergebnisse bezüglich der Absolutwerte:

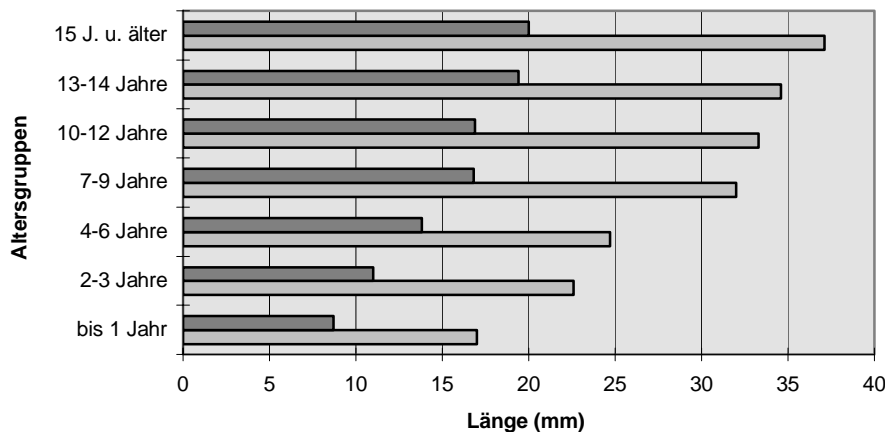


Abb. 21: Analkanallänge (hellgrau) und Hochdruckzone (dunkelgrau) in Ruhe

Alle Altersklassen zusammengefasst betrug die Hochdruckzone in Ruhe im Durchschnitt 52,9%. In der Gruppe der Säuglinge machte der Abschnitt, in welchem 50% des maximalen Segmentmitteldrucks und mehr gemessen wurde, 50,8% der gesamten Analkanallänge aus. In der Gruppe der zwei- bis dreijährigen Kinder lag die Hochdruckzone mit 49% geringfügig darunter (nicht signifikant, $p > 0,05$). Am größten (jedoch nicht signifikant größer als bei den übrigen Gruppen, $p > 0,05$) war der prozentuale Anteil bei den vier- bis sechsjährigen Kindern, hier wurden im Durchschnitt 56,2% der gesamten Analkanallänge zur Hochdruckzone gezählt. In den Altersgruppen IV, V, VI und VII machte sie durchschnittlich 52,7%, 51,4%, 56,1% und 54,1% der Gesamtanalkanallänge aus. Es wurde über alle Altersstufen hinweg eine Zunahme der (absoluten) Hochdruckzone mit steigendem Alter der Probanden beobachtet.

Bei den Messungen unter aktiver Betätigung des anorektalen Kontinenzorgans (Abb. 22) zeigten sich für die Hochdruckzone im Durchschnitt Werte von 48,6% (niedriger als in Ruhe, jedoch nicht signifikant, $p > 0,05$). Der geringste Anteil der Hochdruckzone an der gesamten Analkanallänge fand sich mit 44,7% bei Willkürmessungen in der Altersgruppe VII (15-Jährige und ältere Probanden), in der Gruppe der Zehn- bis Zwölfjährigen betrug die Hochdruckzone durchschnittlich 52,8% (dies signifikant über dem Wert der Altersgruppe VII ($p < 0,05$), jedoch kein signifikanter Unterschied zu den anderen Altersgruppen ($p > 0,05$)). Mit Werten von 51,7% (Altersgruppe I), 45,4% (Altersgruppe II), 47,4% (Altersgruppe III), 50,0% (Altersgruppe IV) und 48,5% (Altersgruppe VI) lagen die restlichen Probandengruppen dazwischen.

Die Messergebnisse der Willkürmessungen lagen somit in den Gruppen II bis VII unterhalb der Ruhewerte, in der Gruppe der Säuglinge und Kleinkinder bis zu einem Jahr hingegen betrug die Hochdruckzone in Ruhe 50,8% im Gegensatz zu 51,7% bei Willkür.

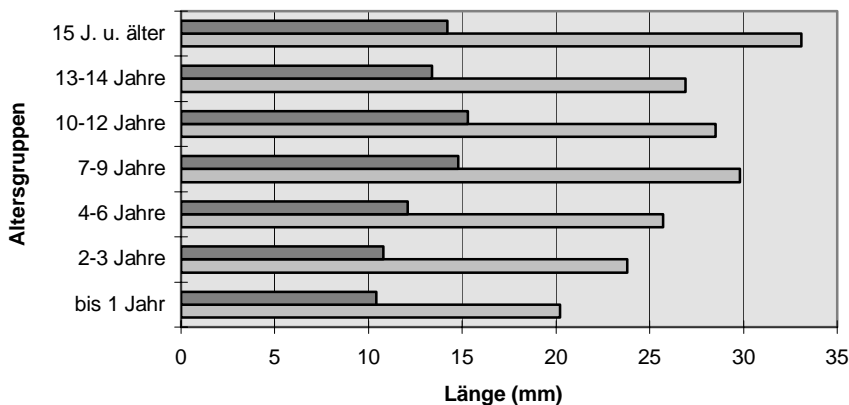


Abb. 22: Analkanallänge (hellgrau) und Länge der Hochdruckzone (dunkelgrau) in mm bei Willkür

3.4) Der maximale Segmentmitteldruck

Für den maximalen Segmentmitteldruck in Ruhe zeigte sich für alle Altersgruppen im Durchschnitt ein Wert von 99,8 mmHg. Im Einzelnen lagen die Messergebnisse des maximalen Segmentmitteldrucks in Ruhe in der Gruppe der Säuglinge bei 82,8 mmHg, in der Gruppe der zwei- und dreijährigen Kinder bei 117,3 mmHg. In der Altersgruppe der vier- bis sechsjährigen Kindern betrug der maximale Ruhesegmentmitteldruck 97,7 mmHg, für die Gruppe der sieben- bis neunjährigen Probanden erhielten wir Werte von 103,3 mmHg. Die Gruppe der zehn- bis zwölfjährigen Kindern erreichte Werte von 102,2 mmHg, die Dreizehn- bis Vierzehnjährigen 87,4 mmHg und die Gruppe der Fünfzehnjährigen und älteren Studienteilnehmern 100,8 mmHg. Es bestand lediglich zwischen den Altersgruppen I und II und zwischen II und VI ein signifikanter Unterschied des maximalen Segmentmitteldrucks in Ruhe ($p < 0,05$).

Der maximale Segmentmitteldruck bei aktiver Betätigung des Kontinenzorgans (= Willkürmessungen) lag durchschnittlich bei 172,9 mmHg (alle Altersgruppen

zusammengefasst). In der Gruppe der Säuglinge ergab sich ein Wert von 147,7 mmHg, bei den zwei- bis dreijährigen Kindern von 170,5 mmHg und bei den vier- bis sechsjährigen Probanden von 154 mmHg. Die Sieben- bis Neunjährigen lagen mit 187 mmHg unter den Werten der zehn- bis zwölfjährigen Kinder (193,9 mmHg), jedoch über den Werten der Dreizehn- und Vierzehnjährigen mit 174,4 mmHg. Fünfzehnjährige und ältere Studienteilnehmer erreichten für den maximalen Segmentmitteldruck bei Willkür 183,1 mmHg. Somit fand sich für den maximalen Kneifdruck kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen I, II, III und VI ($p > 0,05$), die Werte der Altersgruppen IV, V und VII lagen jedoch signifikant über den Werten der Probandengruppen I und III ($p < 0,05$).

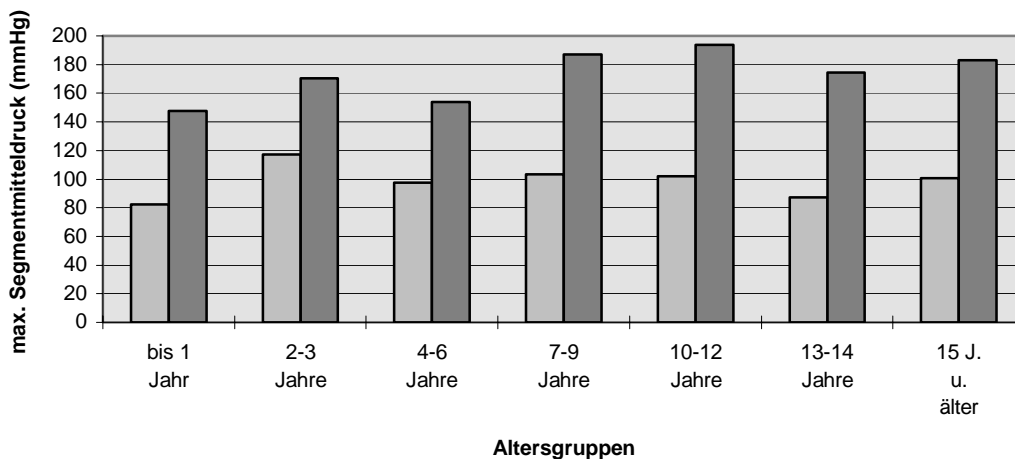


Abb. 23: Maximaler Segmentmitteldruck in Ruhe (hellgrau) und bei Willkür (dunkelgrau)

Die Ruhemesswerte vervielfachten sich beim „Kneifen“ im Durchschnitt um den Faktor 1,76 (Minimum 1,45, Maximum 1,99).

Bei Übertragung der Messergebnisse des maximalen Segmentmitteldrucks in Ruhe in ein Punktdiagramm (= Korrelationsdiagramm) ergab sich eine Kurve ohne Korrelation zwischen Lebensalter des Probanden und des maximalen Segmentmitteldrucks in Ruhe ($R^2 = 0,014$, siehe Abb. 24).

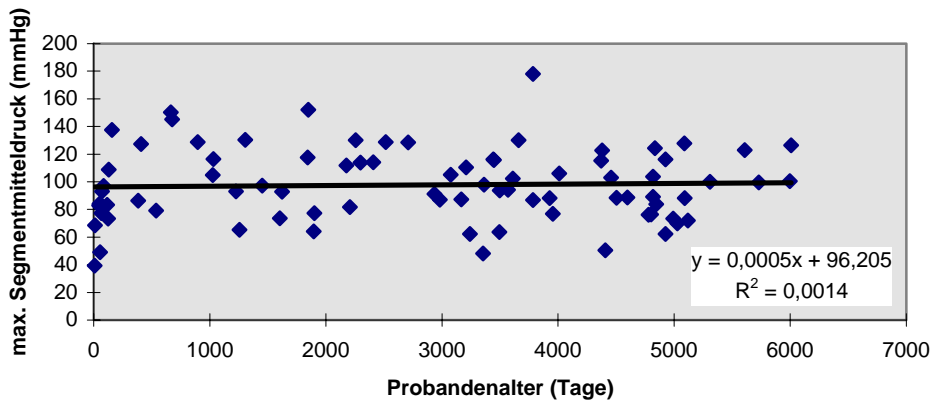


Abb. 24: Maximaler Segmentmitteldruck in Ruhe in Abhängigkeit vom Lebensalter

Auch die Messergebnisse des maximalen Segmentmitteldrucks der Willkürdurchzüge wurden in ein so genanntes Korrelationsdiagramm übertragen. Die Korrelation zwischen Alter der Probanden (in Tagen) und maximalem Segmentmitteldruck bei Willkür wurde mit $R^2 = 0,1428$ berechnet (Abb. 25).

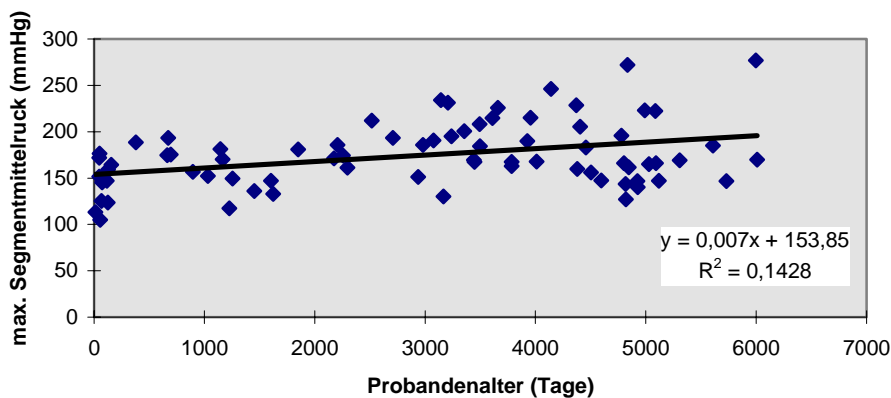


Abb. 25: Maximaler Segmentmitteldruck bei Willkür in Abhängigkeit vom Lebensalter

Beim Vergleich des maximalen Segmentmitteldrucks in Ruhe der weiblichen Probanden mit den Messergebnissen der männlichen Studienteilnehmern zeigte sich, dass in den

Altersgruppen I bis einschließlich V die Mädchen einen höheren Segmentmitteldruck aufwiesen als die Buben.

In den Gruppen VI und VII, also bei den Dreizehn- bis Vierzehnjährigen und bei den Fünfzehnjährigen und älteren Jugendlichen, hatten die Mädchen einen niedrigeren maximalen Segmentmitteldruck (vgl. Abb. 26). Insgesamt zeigte sich jedoch für den durchschnittlichen maximalen Segmentmitteldruck in Ruhe kein signifikanter Unterschied zwischen den Messergebnissen der Mädchen (104,2 mmHg) und der Buben (96,6 mmHg), ($p > 0,05$).

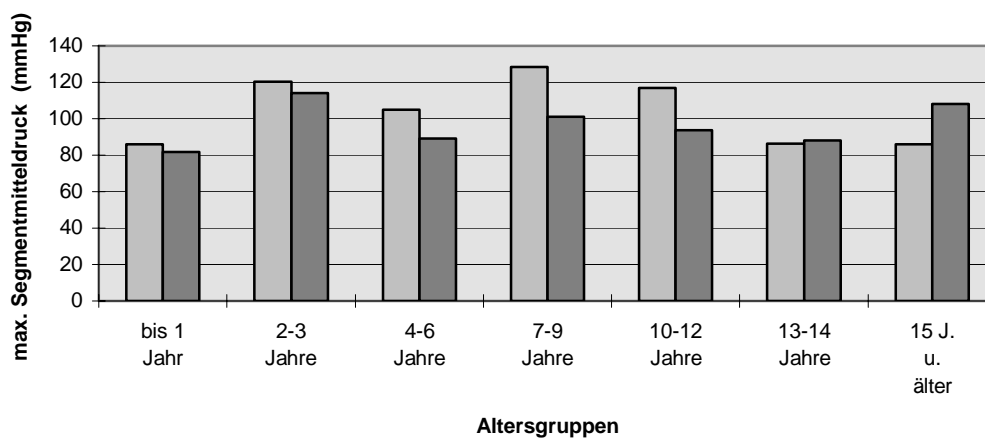


Abb. 26: Maximaler Segmentmitteldruck in Ruhe -Vergleich zwischen Mädchen (hellgrau) und Buben (dunkelgrau)

Etwas anders verhielt es sich bei aktiver Betätigung des anorektalen Kontinenzorgans. In der Altersgruppe I und IV überwog der maximale Segmentmitteldruck bei den weiblichen Probanden, in allen anderen Altersgruppen wiesen die Buben einen höheren maximalen Segmentmitteldruck auf (vgl. Abb. 27).

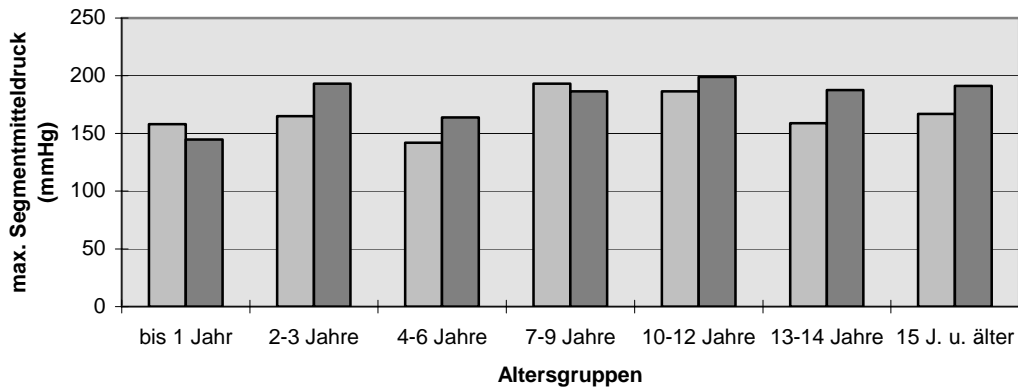


Abb.: 27 Maximaler Segmentmitteldruck bei Willkür -Vergleich zwischen Mädchen (hellgrau) und Buben (dunkelgrau)

Auch für den durchschnittlichen maximalen Segmentmitteldruck bei Willkür ergab sich kein signifikanter geschlechtsspezifischer Unterschied (Mädchen 167,2 mmHg, Buben 180,9 mmHg, $p > 0,05$).

3.5) Entfernung des maximalen Segmentmitteldrucks von anokutan (Linea dentata)

Die Entfernung des maximalen Segmentmitteldrucks von der Anokutanlinie betrug in Ruhe im Durchschnitt 10,1 mm (Minimum 4,5 mm in der Gruppe der Säuglinge, Maximum 13,8 mm bei den Sieben- bis Neunjährigen), bei willkürlicher Kontraktion des Sphinkterapparats im Durchschnitt 11,8 mm (Minimum 6,2 mm in der Säuglingsgruppe, Maximum 17,9 mm in der Gruppe der Fünfzehnjährigen und älteren Probanden).

Die Messergebnisse der Durchzugsprofile in Ruhe zeigten in den Altersgruppen I –IV (Säuglinge bis einschließlich Gruppe der Sieben- bis Neunjährigen) mit zunehmendem Alter der Kinder eine kontinuierliche Verlagerung des Segments mit maximalem Ruhedruck nach proximal. Bei allen Kindern, welche zehn Jahre oder älter waren, lag das Segment mit maximalem Ruhedruck durchschnittlich 12,1 mm proximal der Anokutanlinie (Altersgruppe V 11,9 mm, Altersgruppe VI 12,8 mm und Altersgruppe VII 11,7 mm; vgl. dazu Tabelle 1). Bei den Willkürmessungen zeigte sich für die Altersgruppen I bis IV ebenso eine kontinuierliche Verlagerung des Segments mit dem maximalen Willkürdruck von distal nach proximal. Für alle Kinder und Jugendlichen ab einem Alter von zehn Jahren fand sich das

entsprechende Segment im Durchschnitt 14,7 mm proximal von anokutan (Altersgruppe V 13,8 mm, Altersgruppe VI 12,4 mm und Altersgruppe VII 17,9 mm; siehe Tab. 1).

<u>Altersgruppen</u>	<u>Entfernung von anokutan</u> <u>(Ruhedurchzugsprofile)</u>	<u>Entfernung von anokutan</u> <u>(Willkürdurchzugsprofile)</u>
I bis 1 Jahr	4,5 mm (+/- 2,5)	6,2 mm (+/- 3,6)
II 2-3 Jahre	6,8 mm (+/- 2,1)	8,2 mm (+/- 4,5)
III 4-6 Jahre	9,5 mm (+/- 2,8)	9,9 mm (+/- 3,1)
IV 7-9 Jahre	13,8 mm (+/- 4,0)	14,5 mm (+/- 4,1)
V 10-12 Jahre	11,9 mm (+/- 3,8)	13,8 mm (+/- 5,7)
VI 13-14 Jahre	12,8 mm (+/- 4,9)	12,4 mm (+/- 6,1)
VII 15 Jahre u. älter	11,7 mm (+/- 3,3)	17,9 mm (+/- 7,7)

Tab. 1: Entfernung des maximalen Segmentmitteldrucks von anokutan in Ruhe und Willkür

3.6) Das Vektorvolumen

In die Berechnung des Vektorvolumens geht sowohl der gemessene Druck als auch die Sphinkterlänge ein, daraus ergibt sich die Einheit $\text{mmHg}^2 \times \text{cm}$.

Abb. 28 zeigt die Messergebnisse der Ruhedurchzüge in den einzelnen Altersklassen plus (obere Trendlinie) bzw. minus (untere Trendlinie) einer Standardabweichung.

Das Vektorvolumen betrug durchschnittlich $39303,4 \text{ mmHg}^2 \times \text{cm}$ (Minimum $15333,6 \text{ mmHg}^2 \times \text{cm}$ in der Gruppe der Säuglinge, Maximum $52966,7 \text{ mmHg}^2 \times \text{cm}$ in der Gruppe der Ältesten. Die Ergebnisse der Altersgruppen II-VII lagen signifikant über den Werten der Säuglinge ($p < 0,05$), untereinander bestand jedoch kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$)).

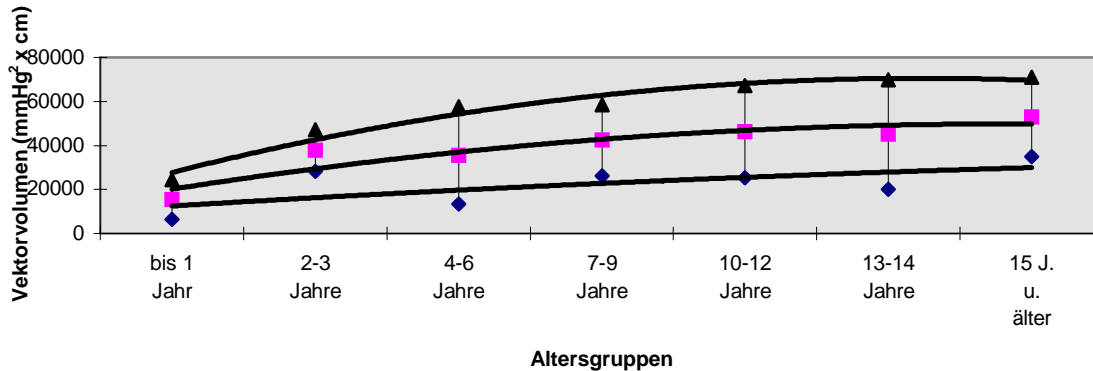


Abb. 28: Vektorvolumen in Ruhe in Abhängigkeit des Probandenalters

Bei aktiver Betätigung des anorektalen Kontinenzorgans erhielten wir einen durchschnittlichen Wert von $92521,2 \text{ mmHg}^2 \times \text{cm}$ (Minimum $50184,6 \text{ mmHg}^2 \times \text{cm}$ in der Säuglingsgruppe, Maximum $130240,9 \text{ mmHg}^2 \times \text{cm}$ in der Gruppe der Zehn- bis Zwölfjährigen. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied in den Gruppen I, II und III ($p > 0,05$) bzw. zwischen den Gruppen IV, V, VI und VII ($p > 0,05$), jedoch lagen die Werte dieser vier Altersgruppen signifikant über den Messergebnissen der Gruppen I bis III ($p < 0,05$), siehe Abb. 29).

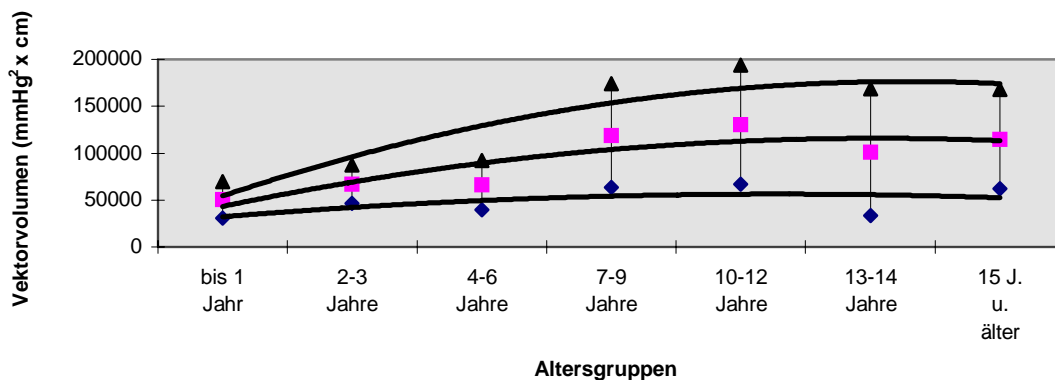


Abb. 29: Vektorvolumen bei Willkürmessungen in Bezug zum Alter

Die Werte der Kneifdurchzüge waren im Durchschnitt um den Faktor 2,4 höher als die Ergebnisse der Ruhedurchzugsprofile (Minimum 1,8 in der Gruppe der Zwei- bis Dreijährigen, Maximum 3,3 in der Gruppe der Säuglinge).

3.7) Asymmetrieindizes und qualitative Beurteilung der Druckverteilung

Es zeigte sich bei allen Studienteilnehmern unabhängig von Alter und Geschlecht eine qualitativ gleiche Verteilung von Druckmaxima und –minima innerhalb des Analkanals.

Bei der Auswertung der Ruhedurchzugsprofile stellte sich bei allen Probanden im distalen Abschnitt des Analkanals dorsal ein Druckminimum dar. Im Bereich des Kanals 1 wurden im Durchschnitt nur 40% des Segmentmitteldrucks erreicht, die angrenzenden Werte der Kanäle 2 und 8 (rechts- und links-lateral des Kanals 1) wiesen im Mittel dagegen 80% des Segmentmitteldrucks auf (signifikantes dorsales Druckminimum, $p < 0,05$). Die Differenz der Werte der Kanäle 2, 1 und 8 in Bezug zum jeweiligen Segmentmitteldruck nahm bei insgesamt ansteigendem Segmentmitteldruck (Absolutwert) kontinuierlich ab je weiter proximal das Segment im Analkanal zu liegen kam. Im mittleren Bereich des Druckprofils, wenn der maximale Segmentmitteldruck annähernd, jedoch noch nicht vollständig erreicht wurde, wiesen alle acht Kanäle nahezu die gleichen Druckwerte auf (siehe Anhang, Abb. 30 und 31).

Rechts- und links-laterale Druckmaxima (den Kanälen 3 und 7 entsprechend) fanden sich im Abschnitt des maximalen Segmentmitteldrucks (auch innerhalb mehrerer Segmente möglich), welche im Durchschnitt 30% über dem jeweiligen Segmentmitteldruck lagen (signifikant, $p < 0,05$; siehe Anhang, Abb. 32 und 33).

Bei Betrachtung der am weitesten proximal gelegenen Segmente des Durchzugs fand sich das Druckminimum, im Gegensatz zu den distalen Abschnitten, ventral. Es präsentierten sich vor allem im Bereich des Kanals 5 Druckeinbußen von über 30% in Bezug auf den jeweiligen Segmentmitteldruck (signifikant, $p < 0,05$). In den angrenzenden Kanälen 4 und 6 war der Druck um bis zu 25% vermindert (signifikant, $p < 0,05$; siehe Anhang, Abb. 34). Abb. 35 zeigt - nochmals in einer Grafik zusammengefasst - die Druckverteilung eines Ruhedurchzugs bezogen auf die einzelnen Segmente.

Bei der Durchsicht der Willkürdruckprofile bestätigte sich die Verteilung der Druckminima und –maxima der Ruhedurchzüge. Auch bei aktiver Betätigung des anorektalen Kontinenzorgans fand sich ein dorsales Druckminimum in den distalen Abschnitten des Analkanals. Im Bereich des Kanals 1 lagen durchschnittlich um 28,5% verminderte Druckwerte vor (wiederum im Vergleich mit dem jeweiligen Segmentmitteldruck; signifikant, $p < 0,05$; vgl. Anhang, Abb. 36.).

Bei Verschiebung der Segmente nach proximal nahm ebenso wie bei den Ruhedurchzügen der Segmentmitteldruck deutlich zu. Die klar abzugrenzenden Druckmaxima rechts- und linkslateral der Ruhedruckprofile stellten sich bei den Willkürdurchzügen nicht dar. Im Gegensatz dazu herrschten im Bereich des maximalen Kneifsegmentmitteldrucks annähernd gleich hohe Messwerte in allen Messbereichen vor (siehe Anhang, Abb. 37: „Sternformation“ im Abschnitt radiales Segment zeigt Schwachstellen der Software auf, vgl. hierzu 4.4 in der Diskussion).

In der Abb. 38 (siehe Anhang) ist wiederum ein weiter proximal gelegenes Segment eines Willkürdurchzugs zu sehen. Die niedrigsten Druckwerte fanden sich hier in Kanal 2 und 3 (88,5% bzw. 79,4% des Segmentmitteldrucks; Katheterposition leicht verdreht, vgl. hierzu auch Punkt 4.4 im Diskussionsteil), die höchsten im Kanal 1, 8 und 7 (25,7%, 15,9% bzw. 13,3% über dem Segmentmitteldruck). Somit zeigte sich auch bei den Kneifdurchzügen in den proximalen Segmenten ein signifikantes ventrales Druckminimum ($p < 0,05$).

Des Weiteren wurde für alle Altersgruppen die Asymmetrie des Segments mit dem höchsten Ruhe- bzw. Willkürsegmentmitteldruck ermittelt.

Für die Segmente, welche bei den Ruhedurchzügen den maximalen Segmentmitteldruck aufwiesen, ergab sich im Durchschnitt eine Asymmetrie von 19,8%. Die geringste Segmentasymmetrie zeigte sich mit 14,4% in der Altersgruppe der Zwei- bis Dreijährigen, am deutlichsten ausgeprägt war die Asymmetrie mit 27,7% in der Gruppe der Dreizehn- bis Vierzehnjährigen (signifikant größere Asymmetrie in Ruhe in den Altersgruppen V – VII als in den Gruppen I, II und IV, sowie in den Gruppen V und VI gegenüber der Gruppe III, $p < 0,05$).

Bei den Willkürmessungen lag die durchschnittliche Asymmetrie mit 14% signifikant ($p < 0,05$) unter dem Durchschnittswert der Asymmetrie der Ruhedurchzüge (19,8%).

Bezogen auf die jeweilige Gruppierung der Probanden ergab sich somit für die Altersgruppen V, VI und VII eine signifikant niedrigere Asymmetrie für die Willkürmessungen ($p < 0,05$) als für die entsprechenden Asymmetrien der Ruhemessungen. In den übrigen Altersgruppen fand sich kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) zwischen den ermittelten Asymmetriewerten in Ruhe bzw. bei Willkür.

Bei den Willkürmessungen fand sich mit 10,6% der geringste Asymmetriewert bei den zwei- und dreijährigen Mädchen und Buben (Altersgruppe II), die größte Asymmetrie wiesen dagegen mit 16,7% die Dreizehn- bis Vierzehnjährigen auf. Es zeigte sich somit ein signifikanter Unterschied zwischen diesen beiden Altersgruppen, ebenso zwischen den Zwei- bis Dreijährigen und den Vier- bis Sechsjährigen ($p < 0,05$). Für die übrigen Gruppierungen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

<u>Altersgruppen</u>	<u>Asymmetrie Ruhe</u>	<u>Asymmetrie Willkür</u>
I bis 1 Jahr	15,5% (+/- 7,1)	14,0% (+/- 5,0)
II 2-3 Jahre	14,4% (+/- 7,1)	10,6% (+/- 2,7)
III 4-6 Jahre	19,1% (+/- 6,8)	15,4% (+/- 4,6)
IV 7-9 Jahre	14,9% (+/- 4,1)	14,0% (+/- 5,1)
V 10-12 Jahre	24,6% (+/- 7,9)	13,7% (+/- 4,1)
VI 13-14 Jahre	27,7% (+/- 10,9)	16,7% (+/- 7,4)
VII 15 J. u. älter	22,7% (+/- 10,7)	13,9% (+/- 6,6)

Tab. 2: Asymmetriewerte in Prozent für die jeweiligen Segmente mit maximalem Segmentmitteldruck in Ruhe und bei Willkür unter Angabe einer Standardabweichung

3.8) Die Gesamtasymmetrie

Die Gesamtasymmetrie der Durchzugsprofile bzw. der dreidimensionalen Figuren betreffend fand sich kein Unterschied zwischen den Messergebnissen in Ruhe und der aktiven Betätigung des analen Sphinkters. Sie betrug in Ruhe im Mittel 30,6% (Minimum 25,2% in der Gruppe der zwei- bis dreijährigen Kindern, Maximum 35,2% in der Gruppe der Zehn- bis Zwölfjährigen), bei den Durchzügen während des Kneifens im Mittel 29,7% (Minimum

25,6% bei den Zwei- bis Dreijährigen, Maximum 34,4% in der Gruppe der dreizehn- und vierzehnjährigen Mädchen und Buben).

4) Diskussion

Die Manometrie wird heutzutage als einfache und nicht invasive Untersuchungsmethode in zahlreichen chirurgischen, pädiatrischen und gynäkologischen Abteilungen zur Diagnostik und Therapieplanung/-kontrolle eingesetzt. Sie findet Anwendung bei Patienten mit chronischer Obstipation [66, 67], bei Inkontinenz-Patienten [92, 114, 117, 141], bei anorektalen Erkrankungen wie Analfissuren [91, 98] und Hämorrhoiden [139] ebenso wie bei Verletzungen des Schließmuskels durch Geburtstraumen [106, 112, 145, 156, 157] oder nach stattgehabten chirurgischen Eingriffen [13, 55, 168].

Es finden sich in der Literatur zahlreiche Arbeiten über manometrische Studien an Erwachsenen, die Anzahl der veröffentlichten Arbeiten von Messreihen an Säuglingen und Kleinkindern ist jedoch nach wie vor gering, insbesondere werden Normwerte von Messungen an gesunden Probanden dieser Altersgruppen nicht angegeben. Durch fehlende Normwerte wird die Interpretation gemessener Werte schwierig (Messwert (noch) normal oder schon im pathologischen Bereich?). Werden dann noch bei der Vielzahl der zur Verfügung stehenden Katheter verschiedene Messverfahren bei unterschiedlichsten Rahmenbedingungen angewandt, so wird der Vergleich eigener Daten mit Ergebnissen aus anderen Studien nahezu unmöglich (siehe auch 4.1 und 4.2).

4.1) Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit manometrischer Messungen - intra- und interindividuelle Unterschiede

So weit verbreitet, wie die Manometrie heutzutage eingesetzt wird, so allgegenwärtig ist die Diskussion über die Zuverlässigkeit der Methode an sich. Allerdings muss die Methode – vielmehr das Spektrum der verschiedenen Untersuchungsmethoden – je nach Indikationsstellung bzw. Fragestellung an die Manometrie beurteilt werden.

Die klassische 3- bzw. 4-Kanal-Manometrie zur Darstellung des rektoanalen Relaxationsreflexes (Internusrelaxation) stellt ein unverzichtbares Untersuchungsverfahren zur Unterscheidung der funktionellen Obstipation von der Hirschsprung'schen Erkrankung dar [89, 90], die Diagnostik gelingt manometrisch in 90% der Fälle, die Spezifität liegt bei 93,5% [126].

Borowitz et al. untersuchten 44 Kinder mit chronischer Obstipation und Enkopresis und zeigten, dass die anorektale Manometrie nicht in der Lage ist, jegliche klinische Symptomatik der Patienten in einem pathologischen Parameter wiederzuspiegeln [16]. Ihrer Meinung nach ist das anorektale Kontinenzorgan und seine Funktionsweise ein empfindliches, für Störungen von außen anfälliges System (mehrere, den Probanden beobachtende Untersucher im Raum, Messsonde wird als rektaler Fremdkörper empfunden, die im Sitzen stattfindende Defäkation wird im Liegen nachgeahmt, usw.). Der natürliche Vorgang der Defäkation und der übrigen Schließmuskelfunktionen kann im Rahmen einer Untersuchung nur bedingt nachgestellt werden und somit ist die Unterscheidung zwischen falsch pathologischen Messwerten durch den Einfluss äußerer Umstände und real pathologischen Werten schwierig.

Auch Freys et al. vermuteten eine nicht unerhebliche Beeinflussung manometrischer Messergebnisse durch äußere Umstände wie Raumtemperatur, Anzahl der bei einer Untersuchung anwesende Personen, verwendete Katheter und Messmethodik, aber auch durch unterschiedliche Compliance der Probanden bei allen Willkürmessungen [40].

Sie untersuchten an zehn gesunden männlichen Probanden an Hand der Sphinkterlänge, des maximalen Ruhedrucks, des maximalen Kneifdrucks, der Internusrelaxation (RIAS = relaxation of the internal anal sphincter) und der Compliance die intra- und interindividuellen Unterschiede bei wiederholten manometrischen Messungen. In Übereinstimmung der Studienergebnisse von Eckardt und Elmer [28] stellen in ihren Augen nur die Sphinkterlänge und der maximale Ruhedruck Parameter mit guter Reproduzierbarkeit dar.

Für Schwankungen bei manometrischen Messungen, welche zwar bei ein und derselben Person, jedoch zu unterschiedlichen (Tages-)Zeiten durchgeführt wurden (intraindividuelle Schwankungsbreite), machen Freys et al., Pedersen und Christiansen sowie Sorensen und Mitarbeiter unter anderem „slow“ und „ultra slow waves“ verantwortlich [40, 104, 134]. Diese spontanen Veränderungen des analen Ruhetonus untersuchten Enck et al. an einer Gruppe von acht gesunden männlichen Probanden. Sie platzierten einen Zweikanal-Mikrotransducerkatheter im proximalen Analkanal und beließen in dort für zwölf Stunden. Es zeigten sich bei allen Studienteilnehmern drei unterschiedliche spontane Veränderungen des analen Ruhetonus. Ein nahezu zirkadianer Rhythmus mit einem Druckabfall während der Schlafphase, nächtliche, 20 bis 40 Minuten andauernde Tonusveränderungen im Sinne eines ultradianen Rhythmus und rezidivierende, spontane Relaxationen des Sphinktertonus mit einer Frequenz von 3 bis 20 pro Stunde mit der höchsten Frequenz nach dem Frühstück. Enck

und seine Mitarbeiter konnten somit zeigen, dass es sich beim Analsphinkter um eine dynamische Struktur handelt, welche nur selten Ruhephasen aufweist. Die Untersuchungen unserer Arbeit wurden deshalb stets zur gleichen Tageszeit durchgeführt und somit sind oben beschriebene Schwankungen für die Interpretation der während des Tages ermittelten Werte irrelevant. Eine Untersuchung bezüglich Messunterschiede zwischen am Tage durchgeführten Messungen und Messungen während der Nacht erfolgte in unserer Arbeit nicht. Zusätzliche Untersuchungen in der Nacht und somit eine Ausdehnung der Studie zur Feststellung möglicher Schwankungen der Messergebnisse zwischen den Tages- und Nachtzeiten erschien uns im Säuglings- und Kindesalter nicht zumutbar bzw. nicht möglich.

Neben den oben erwähnten zirkadianen, ultradianen und spontanen Aktivitäten des Sphinkterapparats spielen des weiteren die Rahmenbedingungen, unter welchen manometrische Untersuchungen durchgeführt werden, eine entscheidende Rolle für die Verwertbarkeit der Messergebnisse. So zeigten unter anderem Bellmann et al. in ihrer Arbeit über „Eine einfache Methode zur Messung des Analsphinktertonus“, dass die Lage bzw. die Position des Probanden erheblichen Einfluss auf die Höhe des gemessenen Drucks nehmen kann. So hatten sie bei ihren Messungen in der Knie-Ellenbogen-Lage im Vergleich zu Messungen in der Steinschnittlage im Rahmen anderer Studien [73, 74, 131] um bis zu einem Drittel niedrigere Analsphinkteröffnungsdrücke erzielt.

Auch ist die Vorbereitung der Probanden bei den jeweiligen Messergebnissen zu berücksichtigen. Da eine Sedierung der Kinder einen entscheidenden Einfluss auf die Messergebnisse nicht zuletzt durch herabgesetzte Aufmerksamkeit und eine damit verbundene verminderte Fähigkeit zur aktiven Mitarbeit haben kann, wurde in der hier vorliegenden Studie im Gegensatz zu Arhan [4] auf jegliche sedierenden Maßnahmen verzichtet.

4.2) Wahl des Katheters

Die Manometrie ist eine seit langem angewandte Meßmethode, bereits 1877 fanden erste, wenn auch noch sehr einfache manometrische Messungen statt ([48], siehe 1.2). In der Rektummanometrie interessierte den Untersucher schon bald nicht nur der Druckwert an einem bestimmten Punkt des Analkanals, es galt dem dreidimensionalen Aufbau des

anorektalen Kontinenzorgans in voller Zirkumferenz und Länge [17], dem Zusammenwirken der verschiedenen Muskeln und den vermuteten Asymmetrien des Analkanals gerecht zu werden. Bereits 1979 untersuchte Blessing mit Hilfe eines Mikrotransducers die Druckverhältnisse an unterschiedlichen Messorten innerhalb des Analkanals [14]. Durch die stetige Verbesserung der eingesetzten Technik ist der Markt an zur Verfügung stehenden Kathetern mit der Zeit sehr vielfältig geworden. So kann der Anwender unter Berücksichtigung der jeweiligen Vor- und Nachteile wählen zwischen Mikrotransducern, open-tip-Kathetern, wasserperfundierten Mehrkanalkathetern mit radiärer (auf gleicher Höhe befindlicher) oder zirkumferentieller (wendeltreppenförmiger) Anordnung der Messeinheit, jeweils mit oder ohne Ballonsonden. Bei der Messung mit Mikrotransducern erfolgt die Erfassung und digitale Umwandlung der Druckwerte – anders als bei Perfusionskathetern – bereits direkt in der Sonde. Dadurch wird eine erhebliche Reduzierung des apparativen Aufwandes und der benötigten Zeit zur Vor- und Nachbereitung [123] erzielt. Bei den wasserperfundierten Kathetern wird der gemessene Druck über die Wassersäule zum eigentlichen Messplatz (Analog-Digital-Wandler, vgl. 2.1, Aufbau des Messplatzes) weitergeleitet und digital umgewandelt. Neben dem bereits angesprochenen erhöhten apparativen Aufwand und damit verbundenen Kosten (daher in der Regel nur in entsprechend großen gastroenterologischen Zentren praktikabel [123]) hat dies einen größeren Katheterdurchmesser zufolge, was wiederum eine mögliche Beeinflussung der Messwerte durch eine verstärkte Sphinktervordehnung (siehe unten) bewirken kann. Katheter mit Ballonsonden, die z. B. zur Compliancemessung verwendet werden, sind erschwert zu reinigen, da der Ballon nach abgeschlossener Messung entfernt und nach Aufbereitung des Katheters vor der nächsten Messung erneut installiert werden muss. Da der Ballon als Einmalartikel vertrieben wird, entstehen bei Verwendung dieses Messverfahrens nicht unerhebliche Kosten.

Nicht zuletzt durch die Vielfalt der zur Verfügung stehenden Messinstrumente als auch der inzwischen hochentwickelten Software, welche zur Verarbeitung der immensen Datenmenge eingesetzt wird, ist die Zahl der mittels Manometrie gewinnbaren Parameter erheblich angestiegen. Dies hat zur Folge, dass jeder zu untersuchende Parameter exakt und eindeutig zu definieren ist [35], und vor jedem Vergleich eigener Messergebnisse mit Ergebnissen anderer Zentren eine kritische Prüfung des verwendeten Materials, insbesondere des

Katheters, der Perfusionsrate [53, 163] sowie der Rückzugsgeschwindigkeit etc. stattfinden muss.

Neben der angewandten Messmethode spielt nach Gutierrez et al. und Hancock der Außendurchmesser des verwendeten Katheters für die Ergebnisse der Messwerte eine entscheidende Rolle [50, 53].

Akervall und seine Mitarbeiter führten 1988 Vergleichsmessungen an Hand zweier Katheter unterschiedlichen Außendurchmessers durch [1] und kamen in Übereinstimmung mit Read et al. sowie Gutierrez und Kollegen zu dem Ergebnis, dass sich die Höhe des maximalen Ruhedrucks proportional zur Dicke des verwendeten Katheters verhält. Die Vordehnung des Sphinkters und die damit auftretende irritative Betätigung des Kontinenzorgans aufgrund des Fremdkörpers ist umso niedriger, je geringer der Außendurchmesser des Katheters ist [50, 123].

Des Weiteren untersuchten Akervall et al. bei Messungen an 15 gesunden Freiwilligen die Adaptationszeit des Sphinkters an den in den Analkanal eingebrachten Fremdkörper (= Katheter). Sie platzierten den Katheter im Analkanal und beließen ihn dort für insgesamt 15 Minuten. Es zeigte sich bei dem minütlich registrierten maximalen Ruhedruck innerhalb der ersten acht Minuten ein kontinuierliches Absinken des Wertes im Sinne einer Druckanpassung bei zunehmender Gewöhnung an den Fremdkörper (Adaptationszeit). Nach acht Minuten stabilisierte sich der Wert des maximalen Ruhedrucks und es fand kein weiterer Rückgang der Messwerte statt [1]. In der Literatur wird die Adaptationszeit sehr unterschiedlich gewichtet: von 10 Sekunden [87], 30 Sekunden [123], über 1-2 Minuten [39], 8 Minuten [1, 2] bis zu 5 - 10 Minuten [63, 64]. Die lange Adaptationszeit von 8 Minuten ist – wie die Arbeiten von Akervall [1, 2] zeigen – mit Sicherheit zu beachten, jedoch gerade bei Messungen an Säuglingen und Kleinkindern nicht immer realisierbar. Da in unserer Studie alle Messungen ohne jegliche Sedierung durchgeführt wurden und die Geduld der Kinder nicht länger als unbedingt notwendig strapaziert werden sollte, wurde mit den Ruhedurchzügen begonnen, sobald die Kinder scheinbar entspannt auf der Untersuchungsfläche lagen und wir auf dem Bildschirm einen gleichmäßigen Basisliniendruck auf allen acht Kanälen beobachten konnten.

Die Angaben über die Perfusionsrate, mit der ein Katheter bei der Perfusionsmanometrie arbeitet, sind in der Literatur ebenso wie die Adaptationszeiten sehr different. Festge

beschrieb nach Vergleichsmessungen von wasserperfundierten Kathetern mit Mikrodruckumwandlern Messergebnisse der Perfusionsmanometrie nur als verwertbar, wenn ein Perfusionsdruck von mindestens 1 ml/min aufrechterhalten wird. Bei zu niedrigen Flusswerten könne kein Druckgleichgewicht aufgebaut werden und man erhalte dadurch zu niedrige Messwerte [35]. Im Gegensatz zu der von Akervall vorgeschlagenen Adaptationszeit achteten wir bei der Perfusionsrate jedoch streng auf einen ausreichenden Fluss innerhalb des Katheters und führten alle Messungen konsequent mit einer Perfusionsrate von 2,8 ml/min durch.

Neben der Mindestperfusionsrate und dem Durchmesser des verwendeten Katheters ist ebenso das Material desselben zu berücksichtigen. Ein starrer Katheter lässt sich zwar leichter im Analkanal platzieren, jedoch kann es aufgrund von Verformungen des Analkanals beim Einführen des harten Instruments zu Verfälschungen der Messergebnisse kommen [24].

Um exakte Messergebnisse zu gewinnen und Artefakte durch Stimulation des Schließmuskels durch den Katheter selbst so gering wie möglich zu halten, muss außerdem auf eine konstante Rückzugsgeschwindigkeit von mindestens 1 mm pro Sekunde geachtet werden [24].

Auch auf die Optimierung des Katheters legten wir großen Wert, um gerade bei den Säuglingen und Kleinkindern eine Beeinflussung der Messwerte durch zu tiefes Einführen und Anstoßen des Katheters an der dorsalen Rektumwand mit möglichem Verziehen des Analkanals zu verhindern. Aus diesem Grund veranlassten wir die Firma Synectics, nach unseren Vorgaben einen speziellen Babykatheter (vgl. 2.1 und 2.3) für die Messungen an Säuglingen anzufertigen. Die Katheterrückzugsgeschwindigkeit lag bei allen Ruhe- und Willkürmessungen konstant bei 2,5 mm/s und entsprach damit den Vorgaben von Coller [24].

4.3) Einfluss verschiedener Faktoren wie Alter, Geschlecht und Anzahl von Geburten auf die Ergebnisse manometrischer Messungen

In Bezug auf die Einflüsse von Alter, Geschlecht und Anzahl stattgehabter Geburten auf die Ergebnisse manometrischer Messungen gibt es in der Literatur eine Vielzahl unterschiedlichster, zum Teil widersprüchliche Erkenntnisse. Im Gegensatz zu Loening-Baucke und Anuras [88] sowie Rasmussen et al. [111] ist die überwiegende Anzahl der Autoren [8, 31, 64, 78, 104, 107] der Ansicht, dass das zunehmende Alter eine Reihe von

manometrischen Parametern beeinflusst. Insbesondere der maximale Ruhedruck, aber auch der maximale Kneifdruck nimmt – gerade bei Frauen – mit zunehmendem Alter ab.

Der Schwede Akervall und seine Mitarbeiter beschrieben des Weiteren in Übereinstimmung mit der skandinavischen Arbeit von Ihre für beide Geschlechter eine altersbedingte Abnahme des „rectal volume“ als auch des maximalen Willkürdrucks um durchschnittlich ein Prozent pro Lebensjahr [2, 65].

Geschlechtsspezifische Unterschiede sind insbesondere bei den Druckmessungen zu erkennen. Poos et al. sahen in ihrer Studie an 88 gesunden Testpersonen (Einteilung in 3 Altersklassifizierungen: Gruppe I unter 40 Jahren (27 männliche und 22 weibliche Probanden), Gruppe II 40 bis 60 Jahre (34 männliche und 28 weibliche Probanden) und Gruppe III 60 Jahre und älter (42 männliche und 22 weibliche Probanden)), dass neben der Abnahme des Drucks im Alter (sowohl für Ruhe als auch für Willkür) die weiblichen Probanden signifikant niedrigere Ruhedruckwerte aufwiesen [107].

In den Studien von Enck et al. sowie Cali und Mitarbeiter fanden sich für die Ruhedruckmessungen keine geschlechtsspezifischen Unterschiede, jedoch war der maximale Willkürdruck bei Frauen signifikant niedriger als bei Männern [19, 32]. Laut Akervall et al. erreichten Frauen lediglich 58,3 bis 75,7% des Wertes des maximalen Willkürdrucks eines Mannes [2].

Die Mehrheit der Autoren [31, 64, 88, 104] maßen bei den weiblichen Probanden jedoch sowohl für den maximalen Segmentmitteldruck in Ruhe als auch für den maximalen Kneifdruck signifikant niedrigere Werte als bei den Männern.

Für die Sphinkterlänge fanden Cali et al., Eckardt und Elmer sowie Loening-Baucke und Anuras dagegen keine geschlechtsspezifischen Unterschiede [19, 28, 88].

Auch der Einfluss stattgehabter Geburten auf manometrisch zu messende Parameter ist in der Literatur Gegenstand der Diskussion. McHugh und Diamant sowie Akervall und Kollegen schlossen einen Einfluss von erfolgten vaginalen Entbindungen auf die Messergebnisse manometrischer Untersuchungen aus [2, 64]. Damon und Mitarbeiter zeigten jedoch in ihrer Arbeit aus dem Jahre 2000, dass Sphinkterdefekte häufig nach der ersten vaginalen Entbindung zu finden sind, auch wenn sie bei weitem nicht immer sofort mit funktionellen oder klinischen Beschwerden assoziiert sind [26]. Zetterström et al. untersuchten 38 Primipara vor und nach der vaginalen Entbindung mittels Endosonografie, Manometrie und Latenzmessungen des N. pudendus. Sie fanden bei 20% der Frauen Sphinkterverletzungen

post partum, die klinisch (bisher) nur bei einer Studienteilnehmerin zur Verschlechterung der Kontinenzleistung geführt hatten [172].

Damon et al. stellten fest, dass bei Frauen, deren Kindern Forceps-assistiert entbunden werden mussten, sowohl der maximale Ruhedruck als auch der maximale Kneifdruck signifikant erniedrigt waren gegenüber Frauen, die ohne Hilfsmittel natürlich entbinden konnten [26]. Cali und Mitarbeiter fanden in einer Untersuchung an 59 Personen (20 männliche Probanden, 21 Nullipara, 18 Multipara) keinen Unterschied zwischen den maximalen Ruhedrücken bei Männern und Nullipara, sehr wohl jedoch signifikant erniedrigte Werte bei Multipara gegenüber Nullipara. Beim Vergleich der Symmetrieindizes der einzelnen Gruppen fand Cali et al. jedoch keinerlei Unterschiede bezüglich Geschlecht oder Anzahl stattgehabter Geburten [19].

4.4) Defizite der angewandten Software

Wie bereits unter Punkt 3.7 angesprochen, wies die Software „Polygram Lower GI, Version 6.40“ der Firma Gastrosoft Inc. Defizite auf im Bereich der grafischen Darstellung der Durchzüge, welche sehr hohe Druckwerte beinhalteten. Abb. 37 im Anhang zeigt die dreidimensionale Grafik eines Durchzugs bei willentlicher Betätigung des Schließmuskels. Bei der Darstellung des radiären Segments kommt es zur Ausbildung einer unrealistischen, sternförmigen Figur bei einer segmentalen Asymmetrie von lediglich 5%. Es wurden solche fehlerhaften Segmentabbildungen gehäuft bei sehr hohen Druckwerten beobachtet.

Offensichtlich ist die Software bei Druckwerten, die an die 300 mmHg und darüber gehen, mit der einwandfreien Umsetzung vom zweidimensionalen Bild des Durchzugs in das radiäre Segment einer dreidimensionalen Abbildung überfordert. Die Firma Gastrosoft bzw. die Vertreter der Software wurden darüber in Kenntnis gesetzt und mit einer Lösung dieses Problems zur Sicherstellung einer einwandfreien Auswertung auch bei außergewöhnlich hohen Druckwerten beauftragt.

4.5) Der Basisliniendruck

Der Basisliniendruck ist nach Ergebnissen von Blessing abhängig von der Position des zu Untersuchenden. Das basale Druckniveau lag bei Messungen im Stehen geschlechtsunabhängig um 10-20 mmHg höher als bei vergleichenden Messungen im Liegen, was nach Blessing der reflektorischen Tonisierung der Puborektalisschlinge zuzuschreiben ist [14].

In der vorliegenden Arbeit wurden alle Messungen in Rückenlage durchgeführt und es ergaben sich Druckwerte zwischen 10 und 16 mmHg. Es fiel auf, dass in der Gruppe der Säuglinge und der zwei- bis dreijährigen Kinder der Basisliniendruck geringfügig, jedoch nicht signifikant ($p > 0,05$) höher lag als in den übrigen Altersgruppen, und zwar sowohl für die Messungen in Ruhe als auch bei den Willkürdurchzugsprofilen. Ein möglicherweise durch unterschiedliche (Organ-)Proportionen bedingter höherer Druck im Abdomen eines Säuglings im Vergleich zu älteren Kindern und Jugendlichen wäre hierfür eine mögliche Erklärung.

Bei den Probanden, welche vier Jahre und älter waren, zeigte sich beim „Kneifen“ ein geringfügig, jedoch nicht signifikant ($p > 0,05$) niedrigerer Basisliniendruck als bei den Messungen in Ruhe, wohingegen der Basisliniendruck der Ruhedurchzugsprofile in der Altersgruppe I und II unterhalb den Werten der Willkürdurchzugsprofile lag (ebenso keine signifikante Differenz, $p > 0,05$). Es muss am ehesten davon ausgegangen werden, dass die Säuglinge und Kleinkinder im Alter von zwei und drei Jahren während den Ruhemessungen (noch) nicht vollständig entspannt waren, sondern zunächst mit einer reflektorischen Betätigung des Schließmuskels und vor allem der Bauchmuskulatur reagierten. Bei der Durchführung der Willkürdurchzugsprofile hatte inzwischen eine gewisse Adaptation an den Katheter stattgefunden und die Säuglinge bzw. Kleinkinder entspannten zunehmend. Bei Kindern, welche vier Jahre und älter sind, ist in der Regel die Sauberkeitserziehung abgeschlossen und das Kind hat die willentliche Kontrolle über den Schließmuskel erlernt. Es kann somit Aufforderungen, den Schließmuskel zu entspannen bzw. auf Kommando hin fest zusammenzukneifen, wie es im Rahmen unserer Studie praktiziert wurde, gut Folge leisten. Somit kann erst ab der Altersgruppe der vier- bis sechsjährigen Kindern von „echten“ Ruhe- bzw. Willkürmessungen ausgegangen werden (bezogen auf die Durchzugsprofile).

Der bei den Willkürmessungen niedrigere Basisliniendruck bei den älteren Kindern könnte am ehesten auf eine zusätzliche, vertiefte allgemeine, auch die Bauchmuskulatur betreffende

Entspannung in Erwartung des Kommandos, den Schließmuskel so fest als möglich zusammenzukneifen, basieren. Die Kinder konnten während der Messung ihre eigenen Druckkurven auf dem Bildschirm beobachten und erhielten so - ähnlich wie beim Biofeedbacktraining - Information über das jeweilige Ent- bzw. Anspannen der anorektalen Muskulatur.

Der Basisliniendruck ist jedoch grundsätzlich von untergeordneter Bedeutung, nachdem nur das eigentliche Druckprofil in die späteren quantitativen und qualitativen Berechnungen bzw. Beurteilungen eingeht.

4.6) Die Länge des Sphinkters

Die Länge der anorektalen Druckbarriere hat Einfluss auf die Kontinenz und so interessierte uns neben den maximalen Segmentmitteldrücken und der quali- bzw. quantitativen Druckverteilung im Analkanal die Länge des Sphinkterapparats in Bezug auf das Alter der Kinder.

Bei unseren Ruhemessungen lag die Sphinkterlänge je nach Alter des Kindes zwischen 17 mm (Gruppe I) und 37 mm (Gruppe VII). Die Umrechnung des Alters der Kinder von Jahren in Tage veranschaulichte die Korrelation der Sphinkterlänge mit zunehmendem Alter der Probanden (vgl. Abb. 17), es zeigte sich mit $R^2 = 0,6506$ erwartungsgemäß eine signifikante Korrelation. Bei den Willkürmessungen lagen unsere Sphinkterlängen zwischen 20 mm (Gruppe I) und 33 mm (Gruppe VII). Mit $R^2 = 0,2276$ korrelierte auch hier die Sphinkterlänge mit dem Lebensalter (vgl. Abb. 18), jedoch deutlich geringer ausgeprägt als bei den Ruhemessungen.

In der Literatur fanden sich hierzu nur wenige, zum Teil sehr unterschiedliche Angaben über Normalwerte. Festge, welcher mit einem wasserperfundierten Katheter (Außendurchmesser 2,3 mm, zwei seitliche Öffnungen 5cm von der Katheterspitze entfernt, Perfusionsrate 3,1 ml/min, Rückzugsgeschwindigkeit 0,7 mm/s, vgl. Punkt 4.8) Messungen an 173 gesunden Kindern vornahm, gab für die Gruppe der 0-6-Jährigen eine Sphinkterlänge von 25 +/- 6 mm und für die 7-13 jährigen Kinder eine Länge von 29 +/- 7 mm an. Einen geschlechtsspezifischen Unterschied in der Sphinkterlänge konnte Festge nicht feststellen [35].

Kaiser und Reuter [69] fanden bei Messungen mit einem open-tip-Katheter für Säuglinge eine Analkanallänge von 20 +/- 0,1 mm. Zu berücksichtigen an dieser Studie ist die geringe Fallzahl (10 gesunde Säuglinge) und die Methodik der Messungen (Sedierung der Säuglinge, Katheterdurchmesser 7-8 mm, Perfusionsrate 4 ml/h (!), vgl. Punkt 4.8).

Höllwarth beschrieb das Ruhedruckprofil, welches bei einer Studie an 90 Kindern mit Obstipation untersucht wurde, mit einer Länge von 15-30 mm und setzte dies mit der Analkanal- bzw. Sphinkterlänge gleich ([56], Messmethodik nach Holschneider [60, 62], drei Sonden zur Druckmessung im rektosigmoidalen Übergangsbereich, im Rektum und im Analkanal und eine weitere Sonde zur Luftinsufflation). Genauere Angaben über die Alters- und Geschlechtsverteilung der Kinder fehlen ebenso wie der Vergleich erzielter Messwerte mit der Analkanallänge gesunder Kinder.

Holschneider [62] ermittelte bei Untersuchungen des anorektalen Ruhedruckprofils eine Analkanallänge von 15 mm bei Säuglingen und 35 mm bei Schulkindern, nach Arhan et al. lag die Sphinkterlänge bei 12-36 mm (Studie, in welcher 49 Patienten nach operativer Versorgung einer Analatresie nachuntersucht und mit einem Kollektiv von 83 gesunden Kindern verglichen wurden, [4]). In beiden Arbeiten wurden keine Angaben über vorhandene oder fehlende geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich der Analkanallänge gemacht.

Tamate konnte mit seinen Mitarbeitern bei einer vergleichenden Studie an insgesamt 77 Neugeborenen (60 objektiv gesunde Kinder, 17 Patienten mit obstruktiver Darmsymptomatik; Gestationsalter 26.-44. Woche) zur Überprüfung des Stellenwertes der Manometrie bei der Diagnostik des M. Hirschsprung zeigen, dass die Analkanallänge bei Frühgeborenen mit 1,23 +/- 0,22 cm signifikant kürzer ist gegenüber 1,56 +/- 0,28 cm bei reif geborenen Kindern [151].

Benninga und Kollegen zitierten in ihrer Arbeit [12] über die Physiologie und Anatomie des Analkanals bei gesunden Kindern, welche sie mittels Manometrie, Profilometrie (8-Kanal-Manometrie) und Endosonografie untersuchten, Ergebnisse von Moroz und Mitarbeiter, welche 1976 manometrische Messungen am Ösophagus durchgeführt hatten. Moroz et al. konnten beim Vergleich gesunder Kinder mit einer Gruppe von Refluxpatienten zeigen, dass die Länge des unteren Ösophagus sphinkters mit dem Alter der Kinder korrelierend zunimmt [96].

Benninga et al. gaben bei ihren Messungen mit einem wasserperfundierten Katheter (Außendurchmesser 4,8 mm, radiäre Anordnung der Drucksensoren 1,5 cm von der

Katheterspitze entfernt, Perfusionsrate 0,5ml/min/Kanal, Rückzugsgeschwindigkeit 7 mm/s) die Sphinkterlänge in Ruhe mit 20,9 +/- 3,1 mm (17-28 mm) und für die Willkürdurchzüge mit 22,4 +/- 4,4 mm (17-31 mm) an. Sie fanden für die Ruhedurchzüge mit $R^2 = 0,5549$ eine annähernd so große Korrelation des Alters mit der Sphinkterlänge wie wir. Nach ihren Angaben korreliert die Sphinkterlänge mit $R^2 = 0,5687$ beim Kneifen jedoch noch deutlicher als bei den Ruhemessungen [12]. Eine derart hohe Korrelation konnten wir für die Messungen bei willkürlicher Kontraktion nicht nachweisen ($R^2 = 0,2276$, vgl. Punkt 3.2).

In der Arbeit von Benninga und Mitarbeitern an 13 gesunden Kindern im Alter von 8-16 Jahren (Durchschnittsalter 12 Jahre, acht Buben, fünf Mädchen) fehlten neben einer exakteren Alterseinteilung vergleichende Messungen der Analkanallänge mittels herkömmlicher Manometrie und der 8-Kanal-Profilometrie. Auch wurde nicht Stellung genommen bezüglich dem Vorhandensein bzw. Fehlen signifikanter Unterschiede zwischen der Sphinkterlänge in Ruhe und bei willkürlicher Kontraktion des Kontinenzorgans. Ebenso fehlte - wohl nicht zuletzt aufgrund der geringen Fallzahl - eine Aussage über geschlechtsspezifische Differenzen [12].

Insbesondere die signifikante Korrelation der Sphinkterlänge in Ruhe mit dem Alter eines Kindes zeigt, dass bei allen manometrischen Messungen, insbesondere jedoch bei der Erstellung von Normwerten neben der exakten Definition der Messmethodik (Wahl des Katheters, Lagerungsposition des Probanden, Perfusionsrate, Rückzugsgeschwindigkeit etc.) eine sinnvolle Altersgruppeneinteilung erfolgen sollte. Bei einem signifikanten Unterschied der Sphinkterlänge eines einjährigen- und eines fünfjährigen Kindes ist es somit nicht sinnvoll, eine Aufteilung der Probanden in eine Gruppe der Null- bis Sechsjährigen und der Sieben-Dreizehnjährigen vorzunehmen wie sie bei Festge getroffen wurde [35].

In unserer Arbeit über die 8-Kanal-Manometrie des anorektalen Kontinenzorgans ist eine Aussage zu geschlechtsspezifischen Unterschieden bezüglich der Analkanallänge aufgrund der doch eher geringen Probandenzahl innerhalb der einzelnen Gruppen und der fehlenden Normalverteilung nur eingeschränkt möglich. Unter diesen Bedingungen aber zeichnete sich bei den Ruhemessungen für keine der einzelnen Altersgruppen ein signifikanter Unterschied der Analkanallänge zwischen Mädchen und Buben ab. Bei den Willkürmessungen lagen lediglich in der Altersgruppe der Säuglinge, der Zwei- bis Dreijährigen sowie der 10- bis 12-Jährigen die Analkanallänge der Buben deutlicher über den Werten der Mädchen. Für alle

anderen Altersgruppen zeigte sich auch bei aktiver Betätigung des anorektalen Kontinenzorgans kein signifikanter geschlechtsspezifischer Unterschied.

4.7) Die Hochdruckzone

Einen weiteren untersuchten Parameter stellt die Hochdruckzone dar. Der Bereich des Sphinkters, in welchem mindestens 50% des maximal gemessenen Drucks erreicht werden, findet in der Literatur (noch) erstaunlich wenig Beachtung, obwohl dessen Bedeutung für die Kontinenzleistung bei weitem noch nicht geklärt ist. Mitunter ist der Parameter „Hochdruckzone“ nicht eindeutig definiert und wird mit der gesamten Analkanallänge gleichgesetzt [35]. Dies hat zur Folge, dass Angaben über Normalwerte der Hochdruckzone nur schwer zu finden sind, obwohl die Bestimmung der Hochdruckzone gerade bei Verwendung eines 8-Kanal-Katheters problemlos möglich ist. So erstellten Freys, Fuchs, Bussen und Thiede anhand ihrer Durchzugs- und Vektormanometrie (8-Kanal-Manometrie) lediglich Normwerte für die Parameter „Sphinkterlänge, Sphinkterruhedruck, Sphinkterwillkürdruck und Internusrelaxation“, obwohl ihnen die verwendete Software Werte für die ermittelte Länge der Hochdruckzone automatisch „mitlieferte“ [39].

Braun et al. verglichen 23 Inkontinenzpatientinnen (Durchschnittsalter 59 +/- 12 Jahre (35-78 Jahre), 11 Frauen mit traumatisch bedingtem Defekt des M. sphincter ani internus und externus (= Gruppe 1) und 12 Frauen mit idiopathischer (kein Sphinkterdefekt feststellbar) Inkontinenz (= Gruppe 2)) mit einem Normkollektiv von acht Frauen (Durchschnittsalter 60 +/- 11 Jahre (38-73 Jahre)) und neun Männern (Durchschnittsalter 63 +/- 10 Jahre (49-79 Jahre)) mittels Vektormanometrie. Für ihre manometrischen Messungen verwendeten sie einen wasserperfundierte 8-Kanal-Katheter mit radiärer Anordnung der druckaufnehmenden Perfusionsöffnungen (Perfusionsrate 0,5 ml/min/Kanal, Rückzugsgeschwindigkeit 10 mm/s). Für die Länge der Hochdruckzone in Ruhe fanden sie mit Werten von 3,5 +/- 0,6 cm bei Frauen und 4,7 +/- 0,5 cm bei Männern einen signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschied. Mit 4,2 +/- 0,8 cm bei den männlichen und 3,8 +/- 0,6 cm bei den weiblichen Probanden fiel der Unterschied der Länge der Hochdruckzone bei den Willkürmessungen deutlich geringer aus (hierzu keine Angaben zur Signifikanz, [17]).

Ein Jahr später verglich Keck et al. eine Gruppe von 12 Patienten mit chronischer Analfissur (neun Männer und drei Frauen, Durchschnittsalter 46 Jahre (31-68 Jahre)) mit 12 gesunden

Probanden entsprechender Alters- und Geschlechtsverteilung (neun Männer und drei Frauen, Durchschnittsalter 44 Jahre (30-62 Jahre)). Er verwendete ebenso einen wasserperfundierten 8-Kanal-Katheter mit einem Außendurchmesser von 5,5 mm (keine Angaben zur Perfusionsrate, Rückzugsgeschwindigkeit 1 mm/s). Keck et al. kamen zu dem Ergebnis, dass die Hochdruckzone sowohl beim Patientenkollektiv als auch bei der Gruppe der gesunden Probanden im distalen Bereich des Sphinkters zu liegen kommt. Mit 58,2% der gesamten Sphinkterlänge (dies entspricht 2,78 cm) lag die Hochdruckzone bei den Analfissurpatienten signifikant über der Länge der Hochdruckzone der Kontrollgruppe (48,3% der Sphinkterlänge, dies entspricht 2,28 cm). Es wurden in dieser Studie leider keine Angaben gemacht, ob die gewonnenen Werte auf Messungen in Ruhe oder bei Willkür basierten noch bezog Keck Stellung zu möglichen geschlechtsspezifischen Unterschiede in Bezug auf die Länge der Hochdruckzone [71].

In unserer Arbeit ergaben sich für die Hochdruckzone bei den Ruhemessungen Werte zwischen 49% und 56,2% der Sphinktergesamtlänge, korrelierend mit dem altersentsprechenden Längenwachstum des gesamten anorektalen Kontinenzorgans. Bei den Willkürmessungen betrug die Hochdruckzone lediglich 44,7% bis 52,8% der gesamten Sphinkterlänge. Eine altersbezogene Zunahme der Werte zeichnete sich - entsprechend der zunehmenden Gesamtsphinkterlänge - nur für die Altersgruppen I-IV ab. Da beim Kneifen kein signifikanter Unterschied in der Analkanallänge (= Sphinkterlänge) in den Gruppen IV-VII gefunden werden konnte ($p > 0,05$), zeigte sich in diesen Altersklassen erwartungsgemäß auch keine weitere signifikante Zunahme der Hochdruckzonenlänge ($p > 0,05$).

4.8) Der maximale Segmentmitteldruck

Wie bereits unter Punkt 4.2 angedeutet, kommt bei Druckmessungen, insbesondere bei Verwendung eines wasserperfundierten Katheters, der Definition der Messmethodik eine besondere Bedeutung zu. Ist die Perfusionsrate zu niedrig (< 1 ml/min) oder die Extraktionsgeschwindigkeit zu hoch (keine Angabe von Grenzwerten), kann es nicht zum Aufbau eines Druckgleichgewichts kommen und es werden somit möglicherweise zu niedrige Messwerte registriert [35]. Neben der „Dicke“ (= Außendurchmesser) des eingesetzten Katheters (vgl. 4.2) ist nach Ansicht von Festge et al. unbedingt auf eine ausreichende

Perfusionsrate zu achten, um einer ungenügenden Druckübertragung durch Verlegung der Katheteröffnungen durch Stuhlpartikel oder durch die Rektumwand vorzubeugen. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Katheter bei der Durchzugsmanometrie durch den Analkanal bewegt wird, sollte unbedingt auf die Perfusionsrate abgestimmt werden („...eine niedrige Perfusionsrate benötigt aufgrund der größeren Trägheit auch eine geringere Extraktionsgeschwindigkeit...“ [35]).

Festge und Mitarbeiter führten den Vergleich zwischen den Messergebnissen des open-tip-Verfahrens (maximale Ruhedruckwerte bei gesunden Kindern von 20-34 mmHg [121], 20-34 cm H₂O (dies entspricht 14,8-25,2 mmHg, [56, 58, 60, 61]) und 14-40 cm H₂O (dies entspricht 10,4-29,6 mmHg, [132]) und den mit einem Perfusionskatheter (Außendurchmesser von 2,3 mm, Perfusionsrate 3,1 ml/min, Extraktionsgeschwindigkeit 0,7 mm/s) ermittelten eigenen Messwerten (101-110 cm H₂O, umgerechnet 74,7-81,4 mmHg) an und verliehen der Notwendigkeit Nachdruck, beim Vergleich eigener Messwerte mit den Ergebnissen anderer Zentren die Rahmenbedingungen einer jeden Studie kritisch zu prüfen [35].

Für den wasserperfundierten 8-Kanal-Katheter mit radiärer Anordnung der Perfusionskanäle (Außendurchmesser 4,5 mm, Perfusionsrate 0,35 ml/min/Kanal, Rückzugsgeschwindigkeit 2,5 mm/s, vgl. Punkt 2.1) ergaben sich für unsere Untersuchungsreihe maximale Segmentmitteldrücke in Ruhe zwischen 82,8 mmHg und 117,3 mmHg, bei willkürlicher Betätigung des Schließmuskels Werte zwischen 147,7 mmHg und 193,9 mmHg.

Das in der Abb. 24 dargestellte Korrelationsdiagramm für die Ruhedurchzüge (vgl. Vorgehensweise bei der Analkanallänge) konnte eine Korrelation des maximalen Segmentmitteldrucks mit dem Alter der Kinder ausschließen ($R^2 = 0,0014$), d.h. die Werte des maximalen Segmentmitteldrucks in Ruhe sind vom Lebensalter des Kindes unabhängig (bei Säuglingen sind die höheren Werte durch die verstärkte Sphinktervordehnung durch den Katheter selbst zu erklären). Bei aktiver Betätigung des anorektalen Kontinenzorgans zeigte sich, dass ältere Kinder deutlich höhere Werte erzielten als Säuglinge und Kleinkinder. Mit $R^2 = 0,1428$ liegt eine, wenn auch nur mäßige Korrelation des maximalen Kneifsegmentmitteldrucks mit dem zunehmenden Alter der Kinder vor.

Benninga et al. arbeiteten bei ihren Messungen an 13 Kindern im Alter von 8-16 Jahren mit einem nahezu identischen Katheter (wasserperfundierter 8-Kanal-Katheter der Firma Synectics®, jedoch mit größerem Außendurchmesser (4,8 mm), des Weiteren im Vergleich zu den Rahmenbedingungen in unserer Studie mit einer mit 0,5 ml/min/Kanal bzw. 7 mm/s

höheren Perfusionsrate und Extraktionsgeschwindigkeit) und ermittelten maximale Segmentmitteldrücke in Ruhe von 109 +/- 25,5 mmHg (72-152 mmHg) und von 210 +/- 36,4 mmHg (161-270 mmHg) bei Willkürkontraktionen. Bedenkt man bei ihrer Arbeit die geringe Fallzahl (nur 13 Probanden), das Durchschnittsalter der untersuchten Kinder (12 Jahre, kein weiteres Splitting der Messergebnisse nach Jahrgängen oder definierten Altersgruppen) und die nicht exakt identischen Rahmenbedingungen (höhere Perfusionsrate und Extraktionsgeschwindigkeit) sowie den größeren Außendurchmesser des Katheters - was am ehesten die höheren Messwerte erklärt (vgl. Punkt 4.2), so sind ihre Messergebnisse mit den unsrigen, wenn auch unter Vorbehalt, vergleichbar. Eine Aussage über mögliche geschlechts- oder altersspezifische Unterschiede der Messwerte wurde nicht getroffen [12].

Sicherlich sind auch die in unserer Arbeit ermittelten Messergebnisse bezüglich einer Stellungnahme zur Beeinflussung der Parameter durch das Geschlecht der Probanden aufgrund der aus statistischer Sicht doch eher geringen Probandenzahl innerhalb der einzelnen Altersgruppen nur bedingt verwertbar, doch zeigte sich, dass es für den durchschnittlichen maximalen Segmentmitteldruck in Ruhe keinen signifikanten Unterschied zwischen Mädchen und Buben gab ($p > 0,05$). Da sich auch der durchschnittliche maximale willkürliche Segmentmitteldruck bei Mädchen und Buben bis zu einem Alter von neun Jahren nicht signifikant unterscheidet und dieser in den restlichen Altersgruppen bei den Knaben lediglich um 15-30 mmHg höher lag als bei den Mädchen (ebenso nicht signifikant, $p > 0,05$), lag auch hier kein geschlechtsspezifischer Unterschied vor.

Nach Aussagen von Blessing können Männer ihren maximalen Ruhesegmentmitteldruck bei maximaler Kontraktion um 150% steigern, Frauen hingegen nur um 50% [14].

Es zeigte sich auch bei unseren Messungen, dass bei allen Teilnehmern (also bei weiblichen wie bei männlichen Probanden), welche der Aufforderung, den Schließmuskel aktiv zu kontrahieren, Folge leisten konnten, eine Steigerung des Ruhewertes im Durchschnitt um den Faktor 1,76 (Minimum 1,45, Maximum 1,99) möglich war.

Der Vergleich der Messergebnisse aus der Säuglingsgruppe mit Arbeiten aus anderen Zentren war erwartungsgemäß schwierig, da umfangreiche Studien an einem großen Kollektiv gesunder Säuglinge, insbesondere für das Messverfahren der 8-Kanal-Manometrie (Profilometrie) bislang fehlen.

4.9) Entfernung des maximalen Segmentmitteldrucks von anokutan

Zusätzlich zur Höhe des maximalen Segmentmitteldrucks wurde die Lokalisation dieses Segments innerhalb des Analkanals untersucht.

Williams und seine Mitarbeiter verglichen mittels der 8-Kanal-Manometrie (Außendurchmesser des Katheters nicht angegeben, Perfusionsrate 0,4 ml/min/Kanal) 14 Inkontinenzpatientinnen (Durchschnittsalter 60 Jahre (35-77 Jahre) mit einem Normalkollektiv von neun Männern (Durchschnittsalter 62 Jahre (28-83 Jahre)) und elf Frauen (Durchschnittsalter 53 Jahre (29-71 Jahre)). Neben des so genannten Variationskoeffizienten (vgl. Punkt 4.11) interessierte sie der Abstand des maximalen Ruhedrucks von der Anokutanlinie („anal verge“). Sie beobachteten bei ihren stationären Durchzugsmessungen, dass der Ruhedruck kontinuierlich zunahm, je distaler der Katheter im Analkanal positioniert war. Den maximalen Ruhedruck ermittelten sie bei beiden Kontrollgruppen 1 cm von der Anokutanlinie entfernt mit einem Wert von 61,9 +/- 4,77 mmHg für die Frauen und 63,9 +/- 5,43 mmHg bei den Männern. In der Gruppe der Inkontinenzpatientinnen lag der maximale Ruhedruck ebenso 1 cm proximal der Anokutanlinie, war jedoch mit 32,5 mmHg signifikant niedriger als der Wert der weiblichen Kontrollpersonen. Auch 2 cm proximal der Anokutanlinie wies die Gruppe der inkontinenten Frauen signifikant niedrigere Werte auf (30,9 mmHg gegenüber 51,0 mmHg).

Zur (möglicherweise differenten) Lokalisation des Segments mit dem maximalen Druck bei willkürlicher Kontraktion des Schließmuskels bezog Williams et al. in seiner Arbeit keine Stellung [166].

In unserer Arbeit ergaben die Messungen für die Altersgruppen I, II, III und IV eine kontinuierliche, mit dem zunehmenden Alter der Kinder korrelierende Verlagerung des Segments des maximalen Drucks von distal nach proximal innerhalb des Analkanals. Ab der Altersgruppe IV (Sieben- bis Neunjährige) stagnierte sowohl für die Ruhedurchzüge als auch für die Messungen bei willkürlicher Betätigung des anorektalen Kontinenzorgans die Verlagerung des Segments nach proximal und die maximalen Druckwerte kamen im Durchschnitt 12,55 mm (in Ruhe) bzw. 14,65 mm (bei Willkür) proximal der Anokutanlinie zu liegen.

Das größte Wachstum des anorektalen Kontinenzorgans zeichnete sich in den ersten zehn Lebensjahren ab, die Analkanallänge wächst in diesem Zeitraum von ca. 16 mm auf ca. 32

mm. In den folgenden fünf Jahren nimmt die Analkanallänge lediglich um weitere 5 mm zu, so dass angenommen werden muss, dass die in den ersten Lebensjahren zu beobachtende kontinuierliche Verlagerung des Segments mit dem maximalen Druck von distal nach proximal wachstumsbedingt ist und stagniert, sobald die nahezu endgültige Analkanallänge erreicht ist.

Der anatomische Verlauf des M. puborectalis und M. levator ani und deren Kontraktion beim Zusammenkneifen des Schließmuskels führt zur Ausübung eines zusätzlichen Zugs nach proximal, was dazu führt, dass das Segment des maximalen Willkürdrucks noch weiter oralwärts innerhalb des Analkanals zu liegen kommt als das Segment mit dem maximalen Ruhedruck.

4.10) Das Vektorvolumen

Der Begriff „Vektorvolumen“ taucht nicht in der Literatur über manometrische Untersuchungen am Rektum, sondern in Arbeiten über den unteren Ösophagussphinkter bei Bombeck et al. bzw. über den oberen Ösophagussphinkter bei Welch und Kollegen erstmalig auf [15, 162]. Bombeck und Mitarbeiter glaubten, bei Refluxpatienten den Misserfolg einer medikamentösen Therapie bzw. den operativen Erfolg einer Antirefluxplastik am Vektorvolumen des unteren Ösophagussphinkters festmachen zu können [15].

In den folgenden Jahren gewann die dreidimensionale Beurteilung des anorektalen Kontinenzorgans und der Parameter „Vektorvolumen“ auch in der Rektummanometrie zunehmend an Bedeutung. 1993 wurden von Freys und Mitarbeitern zehn Probanden (drei Frauen und sieben Männer, Durchschnittsalter 48 Jahre (29-82 Jahre), Kontinenzgrad I nach Holschneider und gesundes Anorektum) und elf Patienten (acht Frauen und drei Männer, Durchschnittsalter 51 Jahre (6-69 Jahre), Kontinenzgrad IIa nach Holschneider bei familiärer Polyposis, Pfählungsverletzung, Rektumprolaps und Colitis ulcerosa, Kontinenzgrad IIb bei Überlaufenkopresis, Rektumprolaps und Analfistel und Kontinenzgrad III bei Analatresie) mittels herkömmlicher Durchzugsmanometrie (5-Kanal-Katheter, manuelle Rückzugsgeschwindigkeit 2 mm/s, Perfusionsrate 0,5 ml/min/Kanal) und der Profilometrie (8-Kanal-Katheter, Rückzugsgeschwindigkeit 2,5 mm/s, Perfusionsrate 0,5 ml/min/Kanal) gemessen [38].

Freys et al. sahen nicht nur bei den Messungen des maximalen Segmentmitteldrucks in Ruhe (Probanden 90 mmHg (37-114 mmHg), Patienten 49 mmHg (20-75 mmHg)), sondern auch bei der Bestimmung des Vektorvolumens (Freys et al. verwendeten in dieser Arbeit mit cm^3Hg eine andere Einheit für das Vektorvolumen: 341 cm^3Hg (64-890 cm^3Hg) für die Gruppe der Probanden, 45 cm^3Hg (22-394 cm^3Hg) für das Patientenkollektiv) einen signifikanten Unterschied zwischen den Werten der gesunden, kontinenten Probanden und den Patienten mit Stuhlinkontinenz unterschiedlichen Ausprägungsgrades. Freys und Mitarbeiter äußerten sich jedoch vorerst nur vorsichtig zur Bedeutung des neuen Parameters „Vektorvolumen“ und forderten Messungen an einem großen Probanden-/Patientenkollektiv: „...Ein endgültiger diagnostischer Stellenwert kann aus den Ergebnissen dieser noch recht kleinen Untersuchungsserie nicht beurteilt werden, rein morphologisch gesehen ergibt die dreidimensionale Darstellung des Druckprofils jedoch eine klare Hilfestellung bei der Objektivierung von Sphinkterdefekten. Ob sich aus dieser Untersuchungsmöglichkeit therapeutische Konsequenzen ergeben werden, kann erst nach entsprechender Validierung an größeren Patientenkollektiven beurteilt werden“ [38]. Drei Jahre später nahmen Freys, Fuchs, Bussen und Thiede selbst erneut Messungen an 160 Patienten unterschiedlichen Kontinenzgrades vor und verglichen diese mit einem Normalkollektiv von 15 Probanden. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass das Vektorvolumen einen sehr wertvollen Parameter in der Rektummanometrie darstellt, da es mit dem Ruhe- bzw. Kneifdruck und der Analkanallänge, in ihren Augen die beiden wichtigsten Parameter in einem Messwert vereint. Auch waren sie der Meinung, dass mit der dreidimensionalen Darstellung des Vektorvolumens besonders dem Chirurgen „...die Visualisierung eines mechanischen Defektes...“ ermöglicht wird, mussten jedoch einräumen, dass bisher weder Angaben zu Grenzwerten physiologischer bzw. pathologischer Messwerte gemacht werden konnten noch „...ist es nicht möglich, bei alleiniger Betrachtung der Vektorvolumengrafik eine diagnostische Aussage über den klinischen Kontinenzgrad oder gar über den vorliegenden Funktionsdefekt machen zu können...“ [39].

Zweifelsohne gehen mit der Analkanallänge und dem Ruhe- bzw. Kneifdruck zwei elementare Parameter der Rektummanometrie in die Berechnung des Vektorvolumens ein, doch darf man unserer Ansicht nach nicht außer Acht lassen, dass sich hierbei auch die Messungenauigkeit und Streubreite der einzelnen Parameter addieren. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass das Vektorvolumen nicht eine dreidimensionale Abbildung der

Anatomie des anorektalen Kontinenzorgans darstellt, sondern lediglich die Druckverhältnisse im Bereich des Schließmuskels wiedergibt. Interpretationen bezüglich der Ursache von Inkontinenz oder anderen klinischen Symptomen eines Patienten können somit sicherlich nicht aufgrund der alleinigen Betrachtung des Vektorvolumens gestellt werden. Es können jedoch, wie Schuster et al. 2000 in ihrer Arbeit über die Ergebnisse der 8-Kanal-Manometrie bei Säuglingen mit ektopem Anus zeigen konnten, über die dreidimensionale Darstellung der Druckverhältnisse im Sphinkterbereich ventrale Druckeinbußen veranschaulicht und so wertvolle Hinweise auf das Vorliegen eines pathologischen Befundes geliefert werden [127].

4.11) Asymmetrieindizes und qualitative Beurteilung der Druckverteilung

Braun und Kollegen untersuchten 23 Frauen unterschiedlichen Inkontinenzgrades (elf Patientinnen mit einem Defekt im Bereich des M. ani internus und externus, zwölf inkontinente Patientinnen ohne nachweisbaren Sphinkterdefekt) mittels der 8-Kanal-Profilometrie (8-Kanal-Katheter, Außendurchmesser 5,5 mm, zirkuläre Anordnung der Messkanäle, Perfusionsrate 0,5 ml/min/Kanal, Extraktionsgeschwindigkeit 10 mm/s) und verglichen ihre Werte mit einem Normalkollektiv von acht Frauen (Multipara, Durchschnittsalter 60 +/- 11 Jahre (38-73 Jahre) und neun Männern (Durchschnittsalter 63 +/- 10 Jahre (49-79 Jahre)).

Sie kamen zu dem Ergebnis, dass der „asymmetry index“ bei proktologisch gesunden Personen mit 7 +/- 2% (in Ruhe) bzw. 6,2 +/- 1,6% (bei Willkür) und bei Patientinnen mit idiopathischer Inkontinenz (kein Sphinkterdefekt nachweisbar) mit 10 +/- 5% (in Ruhe) bzw. 8,4 +/- 4% (bei Willkür) signifikant niedrigere Werte aufweist als bei Patientinnen mit nachgewiesenem Sphinkterdefekt (23 +/- 13% (in Ruhe) bzw. 26 +/- 12% (bei Willkür), [17]).

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen unserer Arbeit lagen bei Braun und Mitarbeitern die Asymmetriewerte bei willkürlicher Betätigung des anorektalen Kontinenzorgans niedriger als in Ruhe. Dies konnten sie sowohl bei den Frauen und Männern des Normalkollektivs als auch bei den Patientinnen mit idiopathischer Inkontinenz beobachten. Bei den Patientinnen mit Sphinkterverletzungen nahm die Asymmetrie beim „Kneifen“ hingegen zu [17].

In der Arbeit von Benz und Kienle diente die radiäre Asymmetrie des „neoanorektalen“ Kontinenzorgans als Verlaufsparemeter bei einer Gruppe von sieben Kindern, bei welchen nach hohen und intermediären Missbildungen des Anorektums eine posteriore sagittale Anorektoplastik (Operationsverfahren nach Pena) durchgeführt worden war. In Übereinstimmung mit Rintala, Lindahl und Louhimo konnten Benz und Kienle zeigen, dass sich im Verlauf von drei Jahren die objektiv zu messende radiäre Asymmetrie von 45,8% auf 29,9% verringerte, was mit der klinischen Verbesserung der Kontinenzleistung der Kinder übereinstimmte [13, 116]. Die oben genannten Autoren gehen von einer gewissen Reifung des anorektalen Kontinenzorgans und einer damit verbundenen Steigerung der Kontinenzleistung aus („...kann von einer Kompaktierung der druckerzeugenden Muskelfasern des Sphinkterkomplexes mit symmetrischer Ausrichtung gesprochen werden....“ [13]). In Benz und Kienles Arbeit blieb allerdings unerwähnt, ob es sich bei den Werten der radiären Asymmetrie um Messergebnisse von Ruhedurchzugsprofilen oder um Messungen bei willkürlicher Betätigung des Schließmuskels handelte. Ebenso ging nicht daraus hervor, in welchem Abschnitt des anorektalen Kontinenzorgans die radiäre Asymmetrie gemessen wurde, also ob es sich um einen Durchschnittswert bezüglich der gesamten Messstrecke handelte, oder ob, - wie in unserer Arbeit-, das Segment mit dem maximalen Ruhe- bzw. Willkürdruck zur Bestimmung der radiären Asymmetrie herangezogen wurde.

Die in unserer Arbeit ermittelten Asymmetriewerte für das Segment mit dem maximalen Ruhe- bzw. Willkürdruck lagen mit durchschnittlich 19,8 % bzw. 14,0 % deutlich über den in den Arbeiten von Benz und Kienle, Braun et al. sowie Rintala und Mitarbeiter angegebenen Werten [13, 17, 116]. Außerdem zeigte sich, dass die radiäre Asymmetrie der Ruhedurchzugsprofile mit zunehmendem Alter der gesunden Kinder erwartungsgemäß nicht abnimmt, wie von Benz und Kienle für die operierten Kinder beschrieben [13]. Die niedrigste radiäre Asymmetrie wies mit 14,4% die Gruppe der Zwei- bis Dreijährigen auf, die größte radiäre Asymmetrie ergab sich mit 27,7% für die Dreizehn- bis Vierzehnjährigen.

Des Weiteren stellte sich für alle Altersgruppen bei aktiver Betätigung des anorektalen Kontinenzorgans erwartungsgemäß eine Verringerung des Asymmetrieindex dar, was sich durch die unterschiedliche Druckverteilung bezüglich der Ruhe- bzw. Willkürdurchzüge erklärt. Im Segment des maximalen Ruhedrucks fanden sich die Druckmaxima links- und rechtslateral, d.h. die Werte der Kanäle 3 und 7 wichen deutlicher vom Durchschnittswert aller acht Kanäle ab als die übrigen sechs Kanäle. Je größer die Druckdifferenzen sind, desto

weiter entfernt sich die Konfiguration des Segments vom optimalen Oktaeder und der Asymmetrieindex nimmt zu (vgl. Punkt 3.7). Beim Kneifen hingegen entstehen bei allen acht Kanälen annähernd gleich hohe Druckwerte und die Differenz eines einzelnen Kanals zum Durchschnittswert aller acht Kanäle ist geringer als bei den Ruhemessungen. Dies hat zur Folge, dass die Asymmetriewerte bei Aktivierung des gesunden Schließmuskels im Vergleich zu den Ruhewerten abnehmen.

Hingegen bei Sphinkterdefekten, z. B. nach Verletzungen des Schließmuskels und den dadurch auftretenden, zum Teil erheblichen Druckdifferenzen im Bereich der einzelnen Kanäle nimmt die Asymmetrie beim Kneifen zu [17].

Neben Asymmetrieindizes wurde in unserer Arbeit ein besonderes Augenmerk auf die Druckverteilung innerhalb des Analkanals und deren qualitativen Beurteilung gelegt.

Bereits 1960 beschrieb Hill mit Kollegen unterschiedliche Druckverteilungen innerhalb des Analkanals. Sie fanden niedrige Druckwerte im proximalen Anteil des Analkanals, welche auf dem Weg nach distal kontinuierlich anstiegen und ihr Maximum kurz proximal des „anal verge“ erreichten [54].

Mit der Weiterentwicklung der Manometrie und der Einführung von Mehrkanalkathetern war es dem Untersucher zunehmend möglich, mit nur einem Durchzugsprofil zahlreiche Daten gleichzeitig an verschiedenen Messorten zu gewinnen. 1984 untersuchten Taylor, Beart und Phillips 18 freiwillige, gesunde Männer und Frauen im Alter zwischen 20 und 41 Jahren mit einem 4-Kanal-Katheter. Sie verwendeten hierzu einen starren, wasserperfundierten Polyvinylkatheter mit einem Außendurchmesser von 1,2 cm und einem Ballon an der Spitze. Die vier seitlichen Öffnungen wurden in einer Höhe positioniert, um eine simultane, radiäre Druckmessung in allen vier Quadranten (posterior, linkslateral, anterior und rechtslateral) zu ermöglichen. Des Weiteren unterteilten Taylor et al. zur Erhebung ihrer Daten den Analkanal in einen proximalen (oralen), in einen mittleren und in einen distalen (aboralen) Abschnitt. Sie definierten den proximalen Abschnitt 1 cm caudal des Rektums, den distalen Bereich 1 cm proximal des „anal verge“. Der mittlere Abschnitt lag auf halber Strecke dazwischen. Taylor und Mitarbeiter konnten für all seine Probanden zeigen, dass sowohl bei den Ruhe- als auch bei den Willkürdurchzügen eine bestimmte Druckverteilung im Analkanal vorlag. Im proximalen Anteil des Analkanals lagen die Messwerte anterior signifikant niedriger als in den übrigen Quadranten. Im mittleren Bereich fanden sich posterior, anterior und links- wie

rechtslateral gleich hohe Druckwerte. Ein signifikantes Druckminimum im posterioren Quadranten dagegen ergaben die Messungen im distalen Abschnitt des Analkanals [153].

1995 griffen Keck und Kollegen in ihrer Arbeit über 8-Kanal-Messungen an 12 Patienten mit Analfissuren die Ergebnisse von Taylor et al. auf und bestätigten deren Feststellung der Druckverteilung innerhalb des Analkanals [71]. Die Ergebnisse von Taylor, Beart und Phillips waren zunächst in gewisser Weise angezweifelt worden, da sie zur Untersuchung einen starren Katheter verwendet hatten und laut Kritiker so eine Beeinflussung der Messwerte nicht ausgeschlossen werden könne.

Keck verglich mit seinen Mitarbeitern die Messergebnisse der 12 Patienten mit einem entsprechenden Kollektiv gesunder Probanden und konnte zeigen, dass er unter Verwendung eines flexibleren Katheters sowohl in der Kontrollgruppe als auch in dem Kollektiv der Analfissurpatienten zu einer identischen Druckverteilung innerhalb des Analkanals kam wie Taylor elf Jahre zuvor [71].

Uns interessierte nun, ob diese Druckverteilung auch bei gesunden Kindern besteht und ob sie bereits im Säuglingsalter nachzuweisen ist oder sich erst während des Heranwachsens eines Kindes entwickelt. Anhand der 8-Kanal-Messungen konnten wir zeigen, dass bei allen Studienteilnehmern eine gleiche Verteilung der Druckminima und -maxima bestand, d.h. ein signifikantes dorsales Druckminimum im distalen Analkanalabschnitt sowie ein signifikantes ventrales Druckminimum im proximalen Bereich des Analkanals. Für den mittleren Abschnitt fanden sich - konform zu den Messergebnissen von Keck et al. sowie Taylor und Mitarbeiter - links- und rechtslaterale Druckmaxima bzw. nahezu identische Druckwerte für alle 8 Messpunkte. Diese typische Druckverteilung innerhalb des Analkanals kommt durch die hochspezialisierte funktionelle Anatomie des anorektalen Kontinenzorgans zustande. Das ventrale Druckminimum im proximalen Anteil des Analkanals entsteht durch den Zug des M. puborectalis (als Teil des M. levator ani), welcher sich als „top loop“ schlingenförmig um den proximalen Analkanalabschnitt legt. Eine Schlinge aus dem M. ani internus und der Pars profunda des M. ani externus sorgt im mittleren Bereich des Analkanals für radiär symmetrische Verhältnisse. Das dorsale Druckminimum im distalen Abschnitt kommt durch die dritte Schlinge, welche aus der Pars superficialis und der Pars subcutanea besteht, zustande. Ihr Zug von ventral nach posterior sorgt für hohe Druckwerte von linkslateral über anterior nach rechtslateral sowie einer Druckeinbuße dorsal.

Die Anatomie des anorektalen Kontinenzorgans als „3-Schlingen-System“ ist bereits bei der Geburt eines Säuglings abgeschlossen, was sich durch die von Geburt an typische Druckverteilung innerhalb des Analkanals belegen lässt. Somit kann die 8-Kanal-Manometrie wertvolle Hinweise auf das Vorliegen pathologischer anatomischer Strukturen liefern. Schuster, Joppich, Schneider und Jobst konnten 2000 zeigen, dass bei Säuglingen mit ektopem Anus in den drei distalen Segmenten der Ruhedurchzüge bzw. in den unteren 7 mm des Analkanals ventral eine deutliche Druckverminderung vorliegt. Der distale Anteil des Analkanals wird bei diesen Kindern von der untersten Schlinge nicht erfasst, da er die Muskulatur „vorzeitig“ verlässt, um perineal bzw. nahezu vestibulär als Analöffnung zu enden [127].

4.12) Die Gesamtasymmetrie

Die Gesamtasymmetrie stellt einen sehr kritisch zu prüfenden Parameter der 8-Kanal-Manometrie dar. Da in die Berechnung der Gesamtasymmetrie alle Abschnitte des Durchzugprofils eingehen, somit also auch die nicht adäquat verwertbaren Bereiche zu Beginn und am Ende eines jeden Durchzugs, entsteht in der Auswertung ein viel zu hoher Wert für die Gesamtasymmetrie. Auch Williams und Mitarbeiter beobachteten bei ihren Messungen an Inkontinenzpatienten und gesunden Kontrollpersonen (genauere Angaben zu Material und Studie vgl. Punkt 4.9), dass der Grad der Asymmetrie von distal nach proximal kontinuierlich zunimmt (48,4% (Männer) bzw. 41,4% (Frauen) 6 cm proximal von „anal verge“, 25,7% bzw. 33,6% bei 5 cm, 23,7% bzw. 28,6% bei 4 cm, 21,0% bzw. 22,8% bei 3 cm und 11,2% bzw. 13,2% bei 2 cm). Den niedrigsten „coefficient of deviation“ fanden Williams et al. (154) mit 9,3% (Männer) und 8,7% (Frauen) im Bereich des maximalen Ruhedrucks (1 cm proximal des „anal verge“, [165, 166]).

Die Asymmetriewerte 1 cm distal der Anokutanlinie der Ruhedurchzüge unterschieden sich bei Williams und Kollegen nicht von den Werten der Willkürmessungen (9,3% (Männer) und 7,8% (Frauen)). Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass Williams den maximalen Willkürdruck definitionsgemäß an der Stelle ermittelte, an welcher er den maximalen Ruhedruck maß, also 1 cm proximal der Anokutanlinie [166]. Es wurden in seiner Arbeit keine Willkürwerte an

den übrigen Messstellen im Analkanal angegeben, somit bleibt offen, ob eventuell weiter proximal ein höherer Willkürdruck festzustellen gewesen wäre.

4.13) Andere Untersuchungsverfahren zur Beurteilung des anorektalen Kontinenzorgans

In der Pädiatrie stellt die 4-Kanal-Rektummanometrie bei der Differentialdiagnose der Obstipation und insbesondere zum Ausschluss bzw. zur Feststellung einer Hirschsprung'schen Erkrankung ein inzwischen anerkanntes und etabliertes Diagnoseverfahren dar. Das Ergebnis der Manometrie entscheidet über die notwendige weitere Diagnostik [126]. Die voranschreitende Entwicklung der zur Verfügung stehenden Kathetern und der Software, welche gewonnene Daten verarbeitet, bietet dem Untersucher ein inzwischen immer größer werdendes Anwendungsgebiet. Da es jedoch für die meisten Erkrankungsbilder nicht möglich ist, einen spezifischen manometrischen Parameter alleinig zur Diagnostik bzw. Ausschluss einer Erkrankungsursache heranzuziehen, sollte insbesondere die Rektummanometrie als einfache und nicht invasive Untersuchungsmethode mit anderen Diagnoseverfahren kombiniert werden.

Sun, Donelly und Read untersuchten in einer Arbeit an 302 Patienten mit Stuhlinkontinenz (235 Frauen (Durchschnittsalter 53 Jahre (18-87 Jahre), Nulli-, Primi- und Multipara; und 67 Männer (Durchschnittsalter 52 Jahre (15-82 Jahre)) über einen Zeitraum von drei Jahren die Ursachen der Inkontinenz und verglichen ihre Messwerte mit einer Kontrollgruppe von 65 gesunden Testpersonen (35 Frauen mit einem Durchschnittsalter von 48 Jahren (21-55 Jahre, 77% der Frauen hatten vaginal entbunden) und 30 Männer mit einem Durchschnittsalter von 45 Jahren (20-63 Jahre)):

Die Kombination der verschiedenen Funktionstests (anorektale Manometrie, Sphinkterelektromyografie und „rectal sensation“) zeigte, dass bei allen 302 Inkontinenzpatienten mindestens eine, bei den meisten Patienten mehrere, kombinierte Abnormitäten im Bereich bzw. der Funktion des anorektalen Kontinenzorgans vorlagen. Bei 92% der Patienten fand sich eine Schwäche des M. sphincter ani externus. Der größte Teil (67%) dieser Patientengruppe waren Frauen, welche einen abnormalen Deszensus des Perineums aufwiesen und mehrmals vaginal entbunden hatten. 10% der Patienten mit

vermindertem Tonus des M. sphincter ani externus zeigten Assoziation zu einer spinalen Erkrankung (im Gegensatz zu den anderen Patientenuntergruppen fand sich hier eine gleichmäßige Geschlechtsverteilung). Bei 32% der inkontinenten Personen lag neben einem schwachen M. sphincter ani externus eine Schwäche des M. sphincter ani internus vor, 92% hiervon wiesen zusätzlich einen Deszensus des Perineums auf. 82 Patienten hatten einen „unstable internal sphincter“ charakterisiert durch prolongierte Spontanrelaxationen unter Ruhebedingungen und fehlender normaler Reduktion des Analdrucks nach bewusster Schließmuskelkontraktion oder ansteigendem abdominellen Druck. In 47% der Inkontinenten fand sich ein „hypersensitive rectum“ mit überschießenden „anorectal responses“ auf rektale Distension. 24 Patienten wiesen einen normalen Ruhe- und Kneifdruck auf bei verminderter „rectal sensation“, sechs Patienten zeigten während rektaler Distension „giant rectal contractions“ [150].

Sun et al. zeigten anhand der Ergebnisse dieser Arbeit, dass Stuhlinkontinenz in der Regel nicht durch einen singulären Defekt oder Beeinträchtigung, sondern häufig durch eine Kombination mehrerer Funktionseinschränkungen bedingt ist, welche nicht durch ein alleiniges Untersuchungsverfahren erfasst werden können [126, 150]. Daher ist es empfehlenswert, die Rektummanometrie mit anderen Untersuchungsverfahren zu kombinieren.

4.13a) Die Elektromyografie

Die Elektromyografie ist eine seit langem angewandte Methode zur Untersuchung der Funktion des M. sphincter ani. Holschneider und Metzler [59] geben in ihrem Buch über die Elektromanometrie des Enddarms eine kurze Historie der Elektromyografie wieder. Anhand ihres Literaturstudiums untersuchte Beck [10] erstmals 1930 den Schließmuskel mittels Stahlnadelelektroden. Floyd und Walls führten 1953 die für die Patienten wesentlich angenehmere Variante der Oberflächenlektroden ein, welche heutzutage vor allem in der Pädiatrie angewandt wird. Sie konnten anhand dieser Untersuchung erstmals zeigen, dass sich der Schließmuskel sowohl während des Schlafes als auch im Wachzustand in einer tonischen Dauerkontraktion befindet [36]. Parks, Porter und Melzak konnten diese Untersuchungsergebnisse 1962 bestätigen [103]. In der folgenden Zeit untersuchten eine

Reihe von Wissenschaftlern die Entladungsfrequenzen und Amplituden des M. sphincter ani externus und internus sowie des M. puborectalis [70, 139, 152] und die Veränderung derselben bei der Defäkation [21]. Untersuchungen am pathologisch veränderten Schließmuskel wie bei Kindern mit Myelomeningozelen [20, 22], bei Patienten mit Sphinktersklerose nach Geburtstraumen oder Analfissuren [23] sowie bei Patienten mit Analatresien und ektooper Blase [3, 59] folgten.

1991 untersuchten Sorensen et al. 13 Patientinnen mit Stuhlinkontinenz (Durchschnittsalter 64 Jahre (37-87 Jahre), 11 Patientinnen mit idiopathischer Inkontinenz und zwei Frauen mit neurologischen Erkrankungen) und 26 gesunde Kontrollpersonen (14 Frauen und 12 Männer, Durchschnittsalter 45 Jahre (24-76 Jahre)), um die Korrelation der Elektromyografie mit der Rektummanometrie zu beurteilen. Für die Messungen des maximalen Ruhe- und Willkürdrucks wurde ein perfundierter Katheter verwendet, bezüglich der Messmethode verweisen Sorensen und Mitarbeiter auf die Literatur. Für die Elektromyografie des M. sphincter ani externus verwendeten sie drei verschiedene Elektroden, eine Schwammelektrode, eine harte „plug“-Elektrode und eine konzentrische Nadelelektrode.

Bei Verwendung der Schwammelektrode fanden sie bei der Gruppe der Inkontinenzpatientinnen in Korrelation zu den erniedrigten Ruhe- und Willkürdruckwerten der Manometrie niedrigere Amplitudenwerte als bei den gesunden Kontrollpersonen. Für die konzentrische Nadelelektrode traf dies lediglich für die Messungen bei aktiver Betätigung des anorektalen Kontinenzorgans zu. Keine Korrelation zwischen Manometrie und Elektromyografie ergab sich dagegen bei Verwendung der harten „plug“-Elektrode, weshalb Sorensen und Mitarbeiter den Einsatz derselben nicht empfehlen [135].

Wird die Elektromyografie ergänzend zur Rektummanometrie angewandt, ist bei der Interpretation der Messergebnisse die Art der angewandten Elektrode unbedingt zu berücksichtigen.

4.13b) Der endoanale Ultraschall

Der endoanale Ultraschall besitzt seine Bedeutung bei der begleitenden Diagnostik bei Analfisteln und -abszessen, Verletzungen des Schließmuskels nach Geburtstraumen [145, 147, 148, 149, 156], bei der gezielten Platzierung von Elektromyografieelektroden [136]

sowie der Möglichkeit zur gezielten präoperativen Histologiegewinnung und Bestimmung der Invasionstiefe beim Rektumkarzinom [97] und anderen histologisch unklaren Erkrankungen im Bereich des anorektalen Kontinenzorgans (z. B. Endometriose des M. sphincter ani externus nach länger zurückliegender Episiotomie [6]).

Da die Sonografie eine nicht invasive Untersuchungsmethode ohne Röntgenstrahlung darstellt, kann sie selbst bei schwangeren Frauen und Kindern problemlos durchgeführt werden. Beim Einsatz bei Kindern unter vier Jahren sollte laut Benninga und Kollegen jedoch darauf geachtet werden, einen Schallkopf mit möglichst geringem Durchmesser zu verwenden [12]. Des Weiteren kann es gerade zur Beurteilung bzw. Unterscheidung oberflächlicher Strukturen wie Rektumwand und Sphinkterregion bzw. tiefer gelegener Regionen wie Beckenbodenmuskulatur von Vorteil sein, Geräte mit unterschiedlichen Schallstärken (und damit unterschiedlichen Eindringtiefen) zu verwenden (z.B. 5 MHz und 7 MHz).

Oben beschriebene Vorteile der endoanalen Sonografie zur Darstellung der normalen Anatomie des anorektalen Kontinenzorgans [33, 79, 99, 146, 148, 149] führten zu zahlreichen Arbeiten über Stuhlinkontinenz und deren Ursachen [81], welche den endoanalen Ultraschall mit der Rektummanometrie [29, 30, 34, 119] oder der Elektromyografie kombinierten [80].

1993 untersuchten Gantke et al. 15 gesunde Personen (neun Männer und sechs Frauen, Durchschnittsalter 30,7 Jahre) mittels anorektaler Manometrie (6-Kanal-Katheter mit Ballon, zirkumferentielle Anordnung der Katheteröffnungen, stationärer Durchzug, keine Angaben zur Perfusionsmenge oder Außendurchmesser des Katheters), transkutaner Elektromyografie („anal plug“-Elektrode, vgl. Punkt 4.13a) und Endosonografie (7,5 MHz, 320°-Scanner, Außendurchmesser 21 mm) zur Gewinnung von Normwerten bzw. zur Festlegung der Korrelation der einzelnen Untersuchungsmethoden zueinander. Gantke und Mitarbeiter zeigten, dass weder die mittels Endosonografie ermittelte Dicke des M. sphincter ani externus in Ruhe noch bei Willkür mit dem maximalen Kneifdruck korrelierte, noch war eine Beziehung der Internusdicke zum Ruhedruck erkennbar. Signifikant war jedoch, dass, - je dicker sich der M. sphincter ani internus darstellte, desto geringer waren die „Kneif“-Aktivitäten des Externus im EMG. Ihrer Ansicht nach stellen die Manometrie und die endoanale Sonografie zwei wichtige, sich einander ergänzende Untersuchungsmethoden zur Beurteilung der Sphinktermorphologie und- funktion dar [42].

1997 verglichen Schäfer und Kollegen erneut die Endosonografie und die Rektummanometrie im Rahmen von Messungen an 152 Patienten aus der proktologischen Sprechstunde (111

Frauen, 41 Männer, Durchschnittsalter 54,1 +/-15,5 Jahre (23-94 Jahre), 92 Patienten mit Stuhlinkontinenz, 37 Patienten mit Obstipation, 19 Patienten mit Ulzera oder Rektumprolaps und vier Patienten mit anorektaler Schmerzsymptomatik). Für die Manometrie verwendeten Schäfer et al. einen wasserperfundierte 6-Kanal-Katheter (zirkumferentielle Anordnung, stationärer Durchzug, Perfusionsrate 0,1 ml/min., keine Angaben zum Außendurchmesser des Katheters), für die Sonografie einen 7,5 MHz 355°-Scanner. Im Gegensatz zu den Ergebnissen von Gantke und Mitarbeitern [42] konnten sie im Rahmen dieser Studie zeigen, dass der maximale Kneifdruck signifikant mit der Dicke des M. sphincter ani externus korreliert [120]. Es fand sich, widersprüchlich zu den Ergebnissen von Law, Kamm und Bartram [81], kein Bezug zwischen maximalem Ruhedruck und Dicke des M. sphincter ani internus, auch gab es sonografisch im Gegensatz zu der Arbeit von Sultan et al. [148] keinen geschlechtsspezifischen Unterschied zwischen dem M. sphincter ani internus und externus.

Die Vielzahl der Arbeiten, welche die endoanale Sonografie mit anderen Untersuchungstechniken vergleichen, zeigt, dass es sich hier um ein wertvolles und in der Anwendung unkompliziertes Verfahren handelt. Die zum Teil doch sehr unterschiedlichen Ergebnisse und die fehlende eindeutige Korrelation eines endosonografischen Parameters mit z.B. einem manometrischen Parameter lassen jedoch erkennen, dass es sich hierbei - ähnlich wie bei der Rektumanometrie - um eine Methode handelt, deren alleiniger Einsatz zur Diagnosefindung nicht immer ausreichend und deshalb mit anderen Verfahrenstechniken kombiniert anzuwenden ist. So konnten Stuhldreier und Mitarbeiter 1997 zeigen, dass die mit Hilfe der dreidimensionalen Sonografie ermittelte Größe des M. ani internus und des M. ani externus sich zueinander und zur jeweiligen Körpergröße und -oberfläche gesunder Kinder linear verhält. Bei der Untersuchung von Kindern, welche am Sphinkterapparat operiert worden waren, erlaubte das reduzierte Volumen des M. ani externus ein inkontinentes Kind zu erkennen. Die durch die dreidimensionale endoanale Sonografie ermittelte Morphologie bzw. Stärke des M. ani internus hingegen lässt hierüber keine Aussage zu. Die Konsequenz der Ergebnisse im einzelnen, auch unter Berücksichtigung neuerer Techniken wie die dreidimensionale Endosonografie des Beckenbodens als zusätzliches diagnostisches Instrument in der Kinderchirurgie, kann momentan sicherlich nur in Zusammenschau mit anderen Untersuchungsmethoden festgelegt werden [144].

Des Weiteren sollte – vergleichbar mit der Prüfung des angewandten Katheters und der Messmethode in der Manometrie - bei der Interpretation der Ergebnisse des endoanalen Ultraschalls auf die Art des verwendeten Schallkopfes geachtet werden.

4.13c) Die Kernspintomografie

Neben der Elektromyografie und der endoanalen Sonografie ist die Kernspintomografie ein weiteres Untersuchungsverfahren, welches gerade in Bezug auf die Anatomie des anorektalen Kontinenzorgans die Rektummanometrie sinnvoll ergänzen kann. Die Anwendung einer Kernspintomografie erfolgt ohne aufwendige Vorbereitung des Probanden/Patienten und ohne Belastung durch Röntgenstrahlung.

Um die physiologische Anatomie des Schließmuskels darzustellen, untersuchten Aronson et al. 1990 fünf gesunde junge Frauen (Durchschnittsalter 25,6 Jahre (23-27 Jahre), alle Nullipara) mit einem 1,5-tesla Signa NMR-System. In dieser Arbeit unterteilten sie den zylindrisch imponierenden Sphinkter in einen anterioren und einen posterioren Anteil. Der anteriore Anteil war im Durchschnitt 18,3 mm dick und 28 mm lang. Nach den Berechnungen von Aronson und seinen Mitarbeitern müssen 54% dieser Dicke dem M. sphincter ani internus zugeteilt werden. Die durchschnittliche posteriore Dicke lag mit 25,8 mm deutlich über der anterioren, der M. sphincter ani internus betrug hier jedoch nur 49%. Mit 9,8 mm erhielten sie die geringste Dicke lateral, der Anteil des M. sphincter ani internus war hier jedoch mit 60% am größten. Zusammengefasst kamen sie zu dem Ergebnis, dass der M. sphincter ani internus, welcher je nach Lokalisation zwischen 49% und 60 % der gesamten Muskelmasse betrug, als glatter, der Willkür nicht unterworfenen Muskel den Hauptanteil an dem im Analkanal vorherrschenden Ruhedruck trägt. Der M. sphincter ani externus dagegen, welcher als quergestreifter und somit willentlich beeinflussbarer Muskel funktioniert, sei für den Großteil des maximalen Willkürdrucks im Analkanal verantwortlich [5].

Neben der Anatomie des Schließmuskels untersuchten Aronson, Lee und Berquist im Rahmen ihrer Arbeit auch den anorektalen Winkel und den Winkel zwischen M. puborectalis und Rektum, welche sie beide für die Aufrechterhaltung der Stuhlkontinenz mitverantwortlich machten. Sie gaben Normalwerte für den anorektalen Winkel in Ruhe mit 80° (60-105°) an, räumten jedoch ein, dass es sich hierbei um eine sehr variable Größe handelt. Eine wesentlich größere Konstanz konnten sie für den Winkel zwischen M. puborectalis und Rektum finden,

welcher bei ihrer zugegebenermaßen sehr kleinen Probandenzahl in Ruhe bei $149^{\circ} \pm 6,3^{\circ}$ (138° - 154°) betrug [5].

Im Rahmen der Weiterentwicklung von kernspintomografischen und manometrischen Untersuchungsverfahren führten Zbar et al. 1999 an 133 Personen herkömmliche manometrische Messungen durch (wasserperfundierter 8-Kanal-Katheter mit spiralförmiger Anordnung der Messpunkte, Außendurchmesser 5,5 mm, keine Angaben zur Perfusionsrate und Extraktionsgeschwindigkeit), des Weiteren eine Vektorvolumetrie (wasserperfundierter 8-Kanal-Katheter mit radiärer Anordnung der Messpunkte, Außendurchmesser 4,8 mm, Rückzugsgeschwindigkeit 10 mm/s, keine Angabe zur Perfusionsrate) sowie ein endoanales MRT (ähnlich dem endoanalen Sonografieverfahren, Verwendung eines 0,5 T AssetTM-Scanner, nähere Beschreibung [109]). Es wurden 83 Patienten mit neurogener Stuhlinkontinenz (Durchschnittsalter 50,4 Jahre (22-90 Jahre), Latenzzeit des N. pudendus > 2 ms), 17 Patienten mit chronischer Analfissur (Durchschnittsalter 36,2 Jahre (22-58 Jahre)) sowie 33 gesunde Freiwillige (Durchschnittsalter 58,9 Jahre (29-86 Jahre)) im Rahmen dieser Studie mit oben beschriebenen Messverfahren untersucht. Zbar und Mitarbeiter konnten zeigen, dass die Werte des durchschnittlichen Ruhe- und Willkürdrucks gemessen mit der herkömmlichen Manometrie mit den Messergebnissen der Vektorvolumetrie korrelieren. Sie beobachteten jedoch, dass die Werte des durchschnittlichen Ruhedrucks bei den vektorvolumetrischen Messungen geringfügig höher ausfielen als bei den stationären Messungen, was nach Benninga et al. [12] sowie Yang und Wexner [169] möglicherweise als reflektorische Betätigung des anorektalen Kontinenzorgans auf den Reiz des Katheterzugs und der Perfusionsmenge gesehen werden muss. Dagegen lagen die Werte des durchschnittlichen Kneifdrucks bei vektorvolumetrischen Messungen niedriger als bei den stationären Durchzügen, was laut Zbar et al. als Folge einer Irritation der Probanden/Patienten durch den Katheterzug und der damit verbundenen Unfähigkeit zur lang anhaltenden Kontraktion des Schließmuskels zu werten ist. Der Vergleich zwischen der Manometrie und den Messungen mittels endoanalem MRT zeigte in Übereinstimmungen mit den endosonografischen Ergebnissen anderer Studien [42, 99, 149] weder eine Korrelation des Ruhedrucks mit der Dicke oder Länge des M. sphincter ani internus noch eine Assoziation des Willkürdrucks mit der Dicke oder Länge des M. sphincter ani externus. Jedoch konnten Zbar et al. aufgrund der mittels endoanalem MRT eindeutig darstellbaren Dreiteilung des M. sphincter ani externus nach Oh und Kark [101] zeigen, dass bei Patienten mit chronischer

Analfissur und neurogener Stuhlinkontinenz ein signifikant kürzerer M. sphincter ani externus (oberflächlicher und subkutaner Anteil) vorlag [171].

Die Kernspintomografie ist mit Sicherheit ein teures und nicht in jeder medizinischen Einrichtung zur Verfügung stehendes Untersuchungsverfahren [171], auch fehlt eine eindeutige Korrelation zu bestimmten manometrischen Parametern, doch ist insbesondere das endoanale MRT nicht zuletzt aufgrund der fehlenden Strahlenbelastung eine wertvolle Methodik zur Vervollständigung der Diagnostik bei Erkrankungen des Schließmuskels. Es lässt eine eindeutige Darstellung der Anatomie, auch in Bezug zu benachbarten Organen wie Harnblase, Vagina etc. zu und findet somit z.B. bei der Darstellung der physiologischen Anatomie [137], bei Defekten des M. sphincter ani externus [138] sowie bei komplexen perirektalen septischen Prozessen [170] Anwendung.

Nivelstein, Vos und Valk sind der Ansicht, dass alle Kinder mit komplexen angeborenen Fehlbildungen wie den anorektalen Malformationen einem multiplanaren MRT (d.h. axiale, coronare und sagittale Schichten) unterzogen werden sollten [100]. Diese Untersuchungsmethode ermögliche neben der Darstellung der (patho)physiologischen Anatomie des anorektalen Kontinenzorgans ebenso einen Blick auf die umliegenden Organe, welche bei komplexen Missbildungen häufig mitbetroffen sind (z.B. Myelomeningozele, Tethered cord, renale Ektopie, Agenesie oder Dysplasie etc.). Sie konnten ebenso zeigen, dass durch den Einsatz eines multiplanaren MRT's die Diagnostik von bei komplexen Malformation im anorektalen Bereich häufig koinzidenten Fisteln bedeutend verbessert werden konnte. Waren bisher unter Umständen zahlreiche verschiedene Untersuchungsverfahren wie die Sonografie, die Zystourografie, die Computertomografie sowie die herkömmliche Kernspintomografie zur Sicherung einer Diagnose notwendig, so lassen sich laut Nivelstein und Mitarbeiter mit dem multiplanaren MRT in einem Untersuchungsgang nahezu alle zur Diagnosestellung und Therapieplanung notwendigen Informationen gewinnen [100]. Hier ist mit der Weiterentwicklung des MRT's mit Sicherheit ein entscheidender Fortschritt in der Diagnostik sowie der Festlegung der weiteren Therapie von komplexen Erkrankungen und Fehlbildungen im anorektalen Bereich gelungen, doch sollte die Kernspintomografie trotz des oben beschriebenen umfangreichen Informationsgewinns nicht singulär, sondern sinnvollerweise ergänzend zur Rektummanometrie eingesetzt werden.

Schuster und Mitarbeiter [128] veröffentlichten im Jahre 2000 Ergebnisse einer Studie, in welcher 17 Kinder (sieben Mädchen und 10 Knaben) nach operierten Malformationen mit der 8-Kanal-Manometrie und MRT (axiale und coronare Schichtung) nachuntersucht wurden. Alle Kinder hatten sich primär oder sekundär einer PSARP (posterior sagittal anorectoplasty) unterzogen und hatten bezüglich der Kontinenz unterschiedliche outcomes. Sie wurden anhand eines modifizierten Kelly-Scores nach Holschneider und Metzler eingestuft, um so ihre klinische Kontinenzleistung mit den Ergebnissen der Manometrie und der Kernspintomografie vergleichen zu können. Schuster et al. konnten zeigen, dass nicht die alleinigen quantitativen Messergebnisse der 8-Kanal-Manometrie oder des MRT's (z.B. Muskeldicke) mit dem klinischen Bild der (In)Kontinenz (Score) eines Patienten korrelierten. Schuster zitierte Holschneiders Ausspruch „...the surgeon who uses only the clinical continence of his patients to asses the success of a pull through or sphincter replacement procedure without informing himself about the function of the transplanted muscle may be completely wrong...[128]“ und verdeutlichte einmal mehr die Notwendigkeit, sich gerade bei der Diagnosefindung und Festlegung therapeutischer Maßnahmen bei komplexen anorektalen Erkrankungen weder auf einzelne Mess- bzw. Untersuchungsergebnisse noch auf die alleinige Klinik zu verlassen.

In den letzten Jahren gewann das MRT zunehmend als wertvolles diagnostisches Instrument bei komplexen Erkrankungen, Fehlbildungen und Fehlfunktionen des anorektalen Kontinenzorgans, des Beckenbodens sowie der angrenzenden Organen an Bedeutung. Bereits 1991 beschrieben Kruyt et al. das dynamische MRT, d. h. die Darstellung des Anorektums in Bezug zu seinen umliegenden Strukturen in Ruhe sowie unter aktiver Betätigung (Pressen und Kneifen) als präziseres und patientenfreundlicheres Untersuchungsverfahren im Vergleich zur Defäkografie [75]. Paetzel und seine Mitarbeiter setzten 2001 das dynamische MRT zur Untersuchung von Patienten mit Obstipation und Stuhlinkontinenz ein und waren von der Fähigkeit dieser Untersuchungsmethode bei der Diagnostik von Enterotzelen, Zystozelen sowie der Beckenbodensenkung überzeugt [102]. Lamb et al. untersuchten im Jahr 2000 in einer Studie 40 Patientinnen und Patienten mit pathologischer Defäkation. Sie setzten im Gegensatz zu dem bisher üblichen „closed magnet design“ ein „open configuration MR system“ ein (dies wurde erstmals 1998 von Schoenenberger und Kollegen [124] verwendet), welches in Kombination mit einem speziell entwickelten, MRT-kompatiblen Stuhl erstmals die Untersuchung der Patienten in einer aufrechten und damit physiologischen Sitzposition

erlaubte. Des Weiteren war es nicht mehr notwendig, dass während der Untersuchung Assistenzpersonal bei dem Patienten anwesend sein musste. So blieb für jeden Patienten die Intimsphäre weitgehend erhalten und er konnte sich die Zeit zur Defäkation nehmen, die er brauchte. Lamb und Mitarbeiter sehen die Vorteile des dynamischen MRT's mit einem offenen System zum einen im Wegfall der ionisierenden Strahlen, wie sie z. B. in der Fluoroskopie anfallen, zum anderen überzeugt sie die exzellente Darstellung des Beckenbodens und der Beckenorgane [76]. Nicht zuletzt schlossen sie sich der Aussage von Paetzel et al. an, dass Veränderungen wie Enterotzelen etc. eindeutig dargestellt werden können [76, 102].

4.13d) Die Computertomografie

Die Computertomografie ist ein weiteres Verfahren, mit welchem sich das anorektale Kontinenzorgan darstellen lässt. Die hierbei entstehende Strahlenbelastung ist insbesondere im Fachgebiet der Pädiatrie und Gynäkologie (Knochenmark, Gonaden) jedoch nicht unerheblich und daher unbedingt zu berücksichtigen.

Des Weiteren ist kritisch zu bedenken, welche zusätzlichen Informationen man mit dem Einsatz einer computertomografischen Untersuchung im Gegensatz zur Kernspintomografie gewinnen kann. Kim und Mitarbeiter untersuchten 1999 ein Kollektiv von 89 an einem Rektumkarzinom erkrankten Patienten. Zum präoperativen Staging wurde bei allen Patienten eine endoanale Sonografie durchgeführt, bei 69 Patienten erfolgte die Durchführung eines Computertomogramms und 73 Patienten erhielten ein endoanales MRT. Die Resultate der einzelnen Untersuchungen wurden mit dem Ergebnis des histopathologischen Befundes (postoperative Tumorklassifikation) verglichen. Es zeigte sich, dass sowohl der endoanale Ultraschall als auch das endoanale MRT der Computertomografie in Bezug auf die präoperative Bestimmung der Invasionstiefe des Rektumkarzinoms und der Infiltration umgebender Organe überlegen waren [72]. Die Identifikation von Lymphknotenmetastasen bereitete allen hier aufgeführten Untersuchungstechniken Schwierigkeiten, aber mit dem endoanal Ultraschall bzw. dem endoanal MRT konnten immerhin 63,5% bzw. 63% richtig erkannt werden, mit der Computertomografie dagegen nur 56,5% [72]. Gerade in Bezug auf das präoperative Staging eines Rektumkarzinoms ist jedoch nicht nur die lokale

Invasionstiefe und die möglicherweise erfolgte Infiltration von benachbarten Organen von Interesse, sondern auch eine eventuelle Fernmetastasierung in Leber, Lunge und ggf. weitere Organe, was vor der Einleitung einer Therapie bekannt sein sollte. Im Gegensatz zum endoanal MRT und Ultraschall kann bei der Computertomografie die Untersuchung erweitert und in gleicher Sitzung zusätzliche Schichten von eventuell betroffenen Organen zur Diagnostik bzw. Ausschluss einer Fernmetastasierung gefahren werden.

Anhand der bereits erwähnten Nachteile einer Untersuchung mittels Computertomografie sollte gerade im Fachbereich der Pädiatrie bei der Untersuchung bzw. erweiterten Diagnostik des anorektalen Kontinenzorgans neben der Manometrie auf die Verwendung risikoärmerer und nicht invasiver Untersuchungsverfahren wie der endorektalen Sonografie oder Magnetresonanztomografie zurückgegriffen werden. Die Computertomografie besitzt hier keinen Stellenwert.

4.13e) Das Defäkogramm

Auch mittels Defäkografie lässt sich zusätzliche Information insbesondere über die Funktionsweise des anorektalen Kontinenzorgans gewinnen. Es handelt sich um eine Untersuchungsmethode, welche auf (mehr oder weniger) realistischem Wege den physiologischen Ablauf der Defäkation darstellt und somit auch Informationen über den anorektalen Winkel und das Tiefertreten des Beckenbodens während der Defäkation liefert. Neben Wandveränderungen wie große Polypen, Rektumprolaps oder einer Rektozele, können so auch Invaginationen, ein funktionsloses Megarektum [60], das Syndrom des „non relaxing puborectalis muscle“ sowie „pelvic floor outlet obstruction“ diagnostiziert werden [12]. Jedoch ist gerade bei Kindern neben der Belastung durch Röntgenstrahlen die psychische Belastung einer Defäkografie, bei der die Toilettensitzung coram publico stattfindet, nicht zu unterschätzen. Fehlbeurteilungen durch falsch positive Defäkografiebefunde durch willentliche Unterbrechung der Defäkation insbesondere bei vegetativ-psychogenen Funktionsstörungen des Defäkationsverhaltens sind zu bedenken [60].

Die Defäkografie hat ihren größten Stellenwert in der Diagnostik des M. Hirschsprunges (enges Segment, Übergangstenose, Megakolon) bei positivem bzw. unklarem 4-Kanal-Manometrieergebnis. Für die Beurteilung der Kontinenz, etwa nach operativer Korrektur einer Analtresie mittels PSARP (posterior sagittal anorectoplasty) ist die Defäkografie gegenwärtig noch unverzichtbar. Sie liefert neben der Information über die Morphologie des Anorektums und des darüber befindlichen Kolons wertvolle Aussagen über die dynamische Funktion und das Zusammenspiel von Anorektum und Kontinenzorgan [126]. Über Erfahrungen der strahlenlosen dynamischen MRT-Defäkografie [76, 102] im Kindesalter wurde leider noch nicht berichtet.

5.) Zusammenfassung

Mit unserer Arbeit über die 8-Kanal-Manometrie des anorektalen Kontinenzorgans bei insgesamt 93 Säuglingen, Kindern und Jugendlichen ist es erstmals gelungen, in Anlehnung an bereits in der Pädiatrie existierenden Wachstumskurven Normwerte für elektromanometrisch zu messende Parameter wie Sphinkterlänge, Hochdruckzone, Vektorvolumen etc. für Kinder aller Alterstufen zu ermitteln. Mit der 8-Kanal-Manometrie wurde hierzu ein einfaches, nicht invasives Verfahren gewählt, welches einem in radiärer und axialer Richtung asymmetrischen Analkanal gerecht wurde und somit die qualitative Druckverteilung innerhalb der einzelnen Abschnitte des Kontinenzorgans klar darlegen konnte. Die Messungen erfolgten mit einem 8-Kanal-Katheter der Firma Medtronic (Außendurchmesser 4,5 mm, Perfusionsrate 2,8 ml/min, radiäre Anordnung der druckaufnehmenden Einheiten auf gleicher Höhe 5 cm proximal der Katheterspitze) sowie mit einer Spezialanfertigung für Säuglinge (Firma Medtronic, Außendurchmesser 4,0 mm, gleiche Perfusionsrate, radiäre Anordnung der acht druckaufnehmenden Einheiten in 8 mm Entfernung von der Katheterspitze, ebenso auf gleicher Höhe angeordnet) unter einer konstanten Rückzugsgeschwindigkeit von 2,5 mm/s. Auf eine Sedierung der Probanden vor Messbeginn wurde ebenso wie auf abführende Maßnahmen verzichtet.

Der Basisliniendruck (= Rektumruhedruck), welcher bei der Berechnung der Ruhe- bzw. Willkürdruckprofile als Ausgangswert bezüglich der sphinkterbedingten Druckzunahme dient, lag unabhängig vom Lebensalter bei allen Probanden zwischen 10 und 16 mmHg. Es ergab sich hierbei kein signifikanter Unterschied zwischen dem Basisliniendruck in Ruhe und bei Willkürmessungen. Für die Sphinkterlänge konnte gezeigt werden, dass diese mit dem Alter der Kinder korreliert ($R^2 = 0,6506$) und mit dem Heranwachsen stetig zunimmt. Bei den Ruhemessungen lag die Sphinkterlänge je nach Altersklasse zwischen 17 und 37 mm (I: 17,0 mm, II: 22,6 mm, III: 24,7 mm, IV: 32,0 mm, V: 33,3 mm, VI: 34,6 mm, VII: 37,1 mm), bei den Willkürmessungen zeigte sich ebenso eine altersbedingte Zunahme der Sphinkterlänge, insbesondere für die Altersgruppen I-IV (I: 20,2 mm, II: 23,8 mm, III: 25,7 mm, IV: 29,8 mm, V: 28,5 mm, VI: 26,9 mm, VII: 33,1 mm). Ein signifikanter Unterschied in der Sphinkterlänge zwischen Ruhe und willkürlicher Betätigung des anorektalen Kontinenzorgans bestand lediglich in einer Altersgruppe (13- bis 14-Jährige). Bei nicht

gleichmäßiger Verteilung der weiblichen und männlichen Probanden in den einzelnen Altersgruppen stellte sich für die Länge des Sphinkters in Ruhe kein wertbarer geschlechtsspezifischer Unterschied dar. Für die Willkürmessungen waren die Sphinkterlängen der Knaben geringfügig größer als die der Mädchen, am deutlichsten zeigte sich dies in der Gruppe der Säuglinge, der Zwei- bis Dreijährigen sowie in der Gruppe der zehn- bis zwölfjährigen Kinder. Es lag jedoch, ebenso wie bei den Ruhemessungen, auch hier kein signifikanter geschlechtsspezifischer Unterschied vor. Die für die Kontinenzleistung nötige Hochdruckzone definiert denjenigen Abschnitt des Analkanals (synonym zur Sphinkterlänge), in welchem der gemessene Druck mindestens 50% des maximalen Segmentmitteldrucks erreicht. Die Hochdruckzone betrug im Durchschnitt bei allen Altersgruppen in Ruhe 52,9%, bei Willkür 48,6% der gesamten Analkanallänge. Für den maximalen Segmentmitteldruck in Ruhe ergaben sich Werte zwischen 82,8 und 117,3 mmHg (I: 82,2 mmHg, II: 117,3 mmHg, III: 97,7 mmHg, IV: 103,3 mmHg, V: 102,2 mmHg, VI: 87,4 mmHg, VII: 100,8 mmHg), für die Willkürdurchzüge lag der maximale Segmentmitteldruck zwischen 147,7 und 193,9 mmHg (I: 147,7 mmHg, II: 170,5 mmHg, III: 154 mmHg, IV: 187 mmHg, V: 193,9 mmHg, VI: 174,4 mmHg, VII: 183,1 mmHg). Eine Korrelation des maximalen Segmentmitteldrucks mit dem Lebensalter der Probanden konnte weder für die Ruhe- ($R^2 = 0,014$) noch für die Willkürmessungen ($R^2 = 0,1428$) festgestellt werden. Bezogen auf das Geschlecht der Probanden war der durchschnittliche maximale Segmentmitteldruck in Ruhe und bei Willkür bei Mädchen und Knaben vergleichbar. In Übereinstimmung mit Ergebnissen von Messungen an deutlich kleineren Kollektiven von erwachsenen Probanden erreichten alle Kinder bei den Willkürmessungen eine Steigerung des maximalen Segmentmitteldrucks in Ruhe im Durchschnitt um den Faktor 1,76 (Minimum 1,45, Maximum 1,99). Das Segment mit dem maximalen Segmentmitteldruck verlagerte sich dabei innerhalb des Analkanals kontinuierlich von distal nach proximal, ab der Altersgruppe V (10-12 Jahre) kam es in Ruhe im Durchschnitt 12,1 mm, bei den Kneifdurchzügen im Durchschnitt 14,5 mm proximal der Anokutanlinie zu liegen. Für das Vektorvolumen, in dessen Berechnung sowohl der gemessene Druck als auch die Sphinkterlänge eingeht, stellten sich Werte zwischen 15333,6 und 52966,7 mmHg² x cm (Ruhe) bzw. zwischen 50184,6 und 130240,9 mmHg² x cm (Willkür) dar. Die Willkürwerte lagen im Durchschnitt um den Faktor 2,4 höher als das Vektorvolumen in Ruhe. Neben dem Absolutwert des maximalen Segmentmitteldrucks wurde die Asymmetrie dieses einzelnen Segments beurteilt. Diese war

mit durchschnittlich 14,0% bei der aktiven Sphinkterbetätigung niedriger als in Ruhe (im Durchschnitt 19,8%). Die Gesamtasymmetrie der dreidimensionalen Figuren zeigte keinen Unterschied bezüglich der Ruhe- bzw. Willkürmessungen, sie betrug im Durchschnitt 30,6% (25,2 - 35,2% in Ruhe) bzw. 29,7% (25,6 - 34,4% beim Kneifen). In Bezug auf die qualitative Beurteilung der Druckverteilung innerhalb des Analkanals, welche z.B. in Folge einer Fehlbildung oder eines Traumas pathologisch veränderte Werte aufweisen kann, konnte bei allen Probanden, unabhängig von Alter und Geschlecht, ein spezifisches Verteilungsmuster der Druckminima und- maxima gezeigt werden. Im proximalen Abschnitt des Analkanals waren die Drücke im Bereich des Kanals 5 um über 30%, in den angrenzenden Kanälen 4 und 6 um 25% vermindert gegenüber des entsprechenden Segmentmitteldrucks, es zeigte sich somit ventral ein deutliches Druckminimum. Im Abschnitt des Segments mit dem maximalen Segmentmitteldruck waren links- und rechtslateral (Kanal 3 bzw. 7) Druckwerte gemessen worden, welche bis zu 30% über dem maximalen Segmentmitteldruck lagen. Weiter nach distal war eine annähernd gleiche Druckverteilung über alle acht Kanäle zu beobachten. Im distalen Abschnitt des Analkanals zeichnete sich ein deutliches dorsales Druckminimum ab. Für Kanal 1 betrug die Messwerte hier nur 40% des Segmentmitteldrucks, für die benachbarten Kanäle 2 und 8 nur 80%. Bei aktiver Betätigung des Sphinkters stellte sich eine entsprechende Druckverteilung im Analkanal dar, lediglich die deutlichen links- bzw. rechtslateralen Druckmaxima im Bereich des maximalen Segmentmitteldrucks in Ruhe entfielen zu Gunsten gleich hoher Druckwerte über allen acht Kanälen beim Zusammenkneifen des Sphinkters.

Die 8-Kanal-Manometrie stellt ein nicht invasives Untersuchungsverfahren dar, welches wertvolle Informationen über die Physiologie und Pathophysiologie des anorektalen Kontinenzorgans liefert sowie insbesondere Aufschluß über die spezifische Druckverteilung innerhalb des Analkanals und die damit verbundene funktionelle Kapazität gibt. Im Rahmen einer gewissenhaften Diagnostik und zur Festlegung der weiteren Therapie eines Erkrankungsbildes sollte die Manometrie jedoch überwiegend in Kombination mit anderen Untersuchungsverfahren wie der Elektromyografie, des endoanalen Ultraschalls, der Kernspintomografie, der Computertomografie und der Defäkografie angewandt werden.

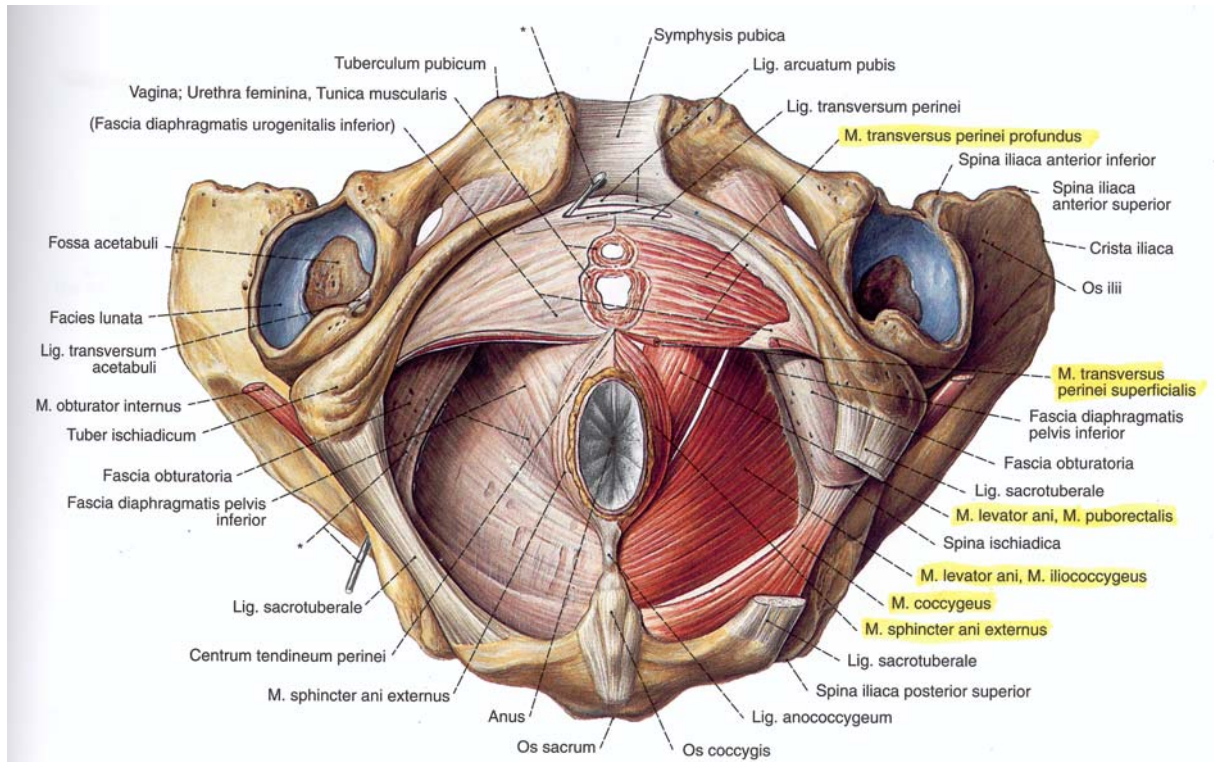


Abb. 1: Muskeln des Damms, Beckenboden bei der Frau [133]

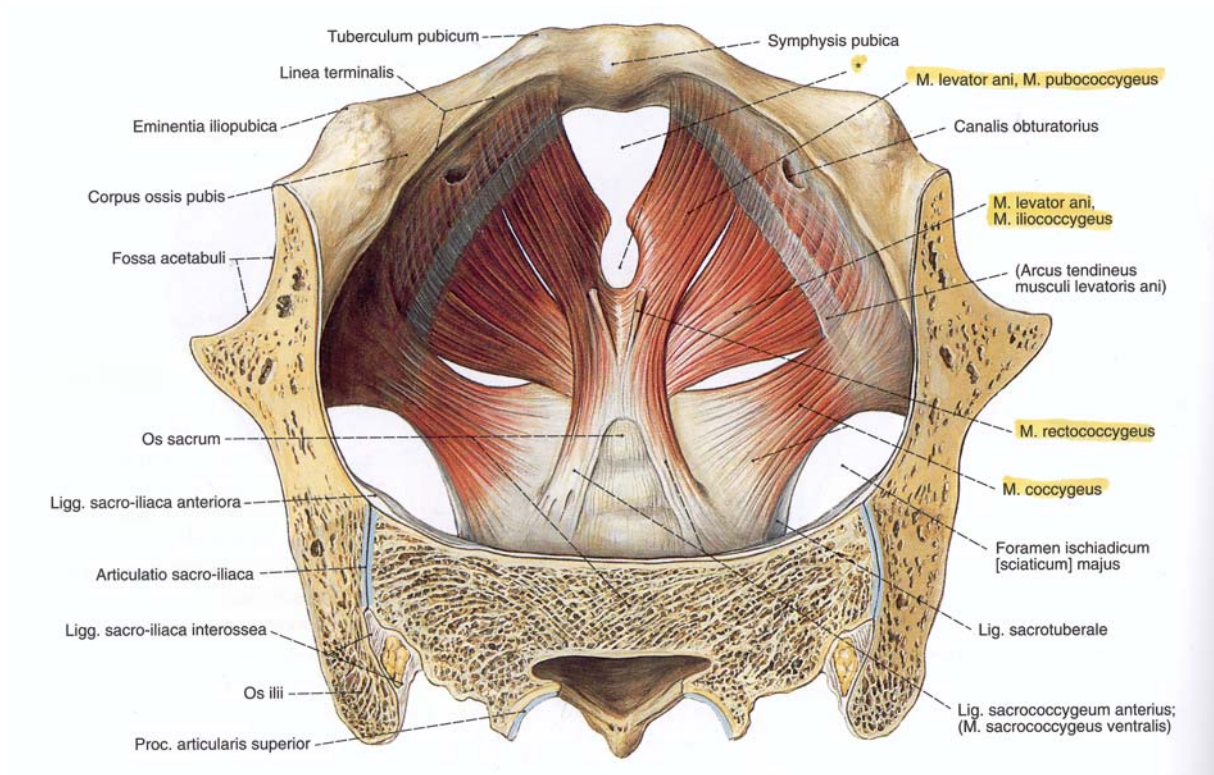


Abb. 2: Diaphragma pelvis bei der Frau [133]

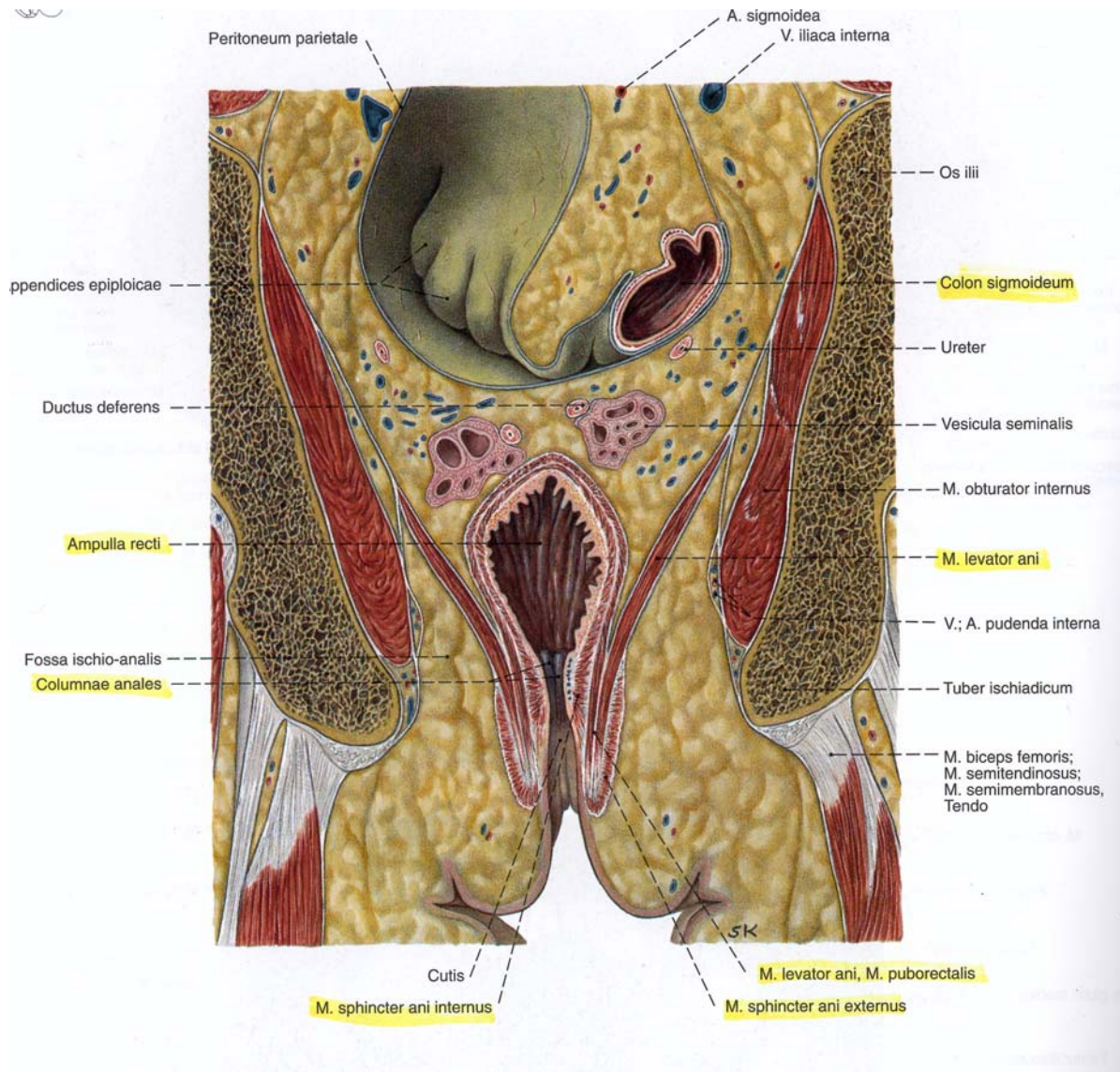


Abb. 3: Frontalschnitt durch das kleine Becken beim Mann (von ventral) [133]

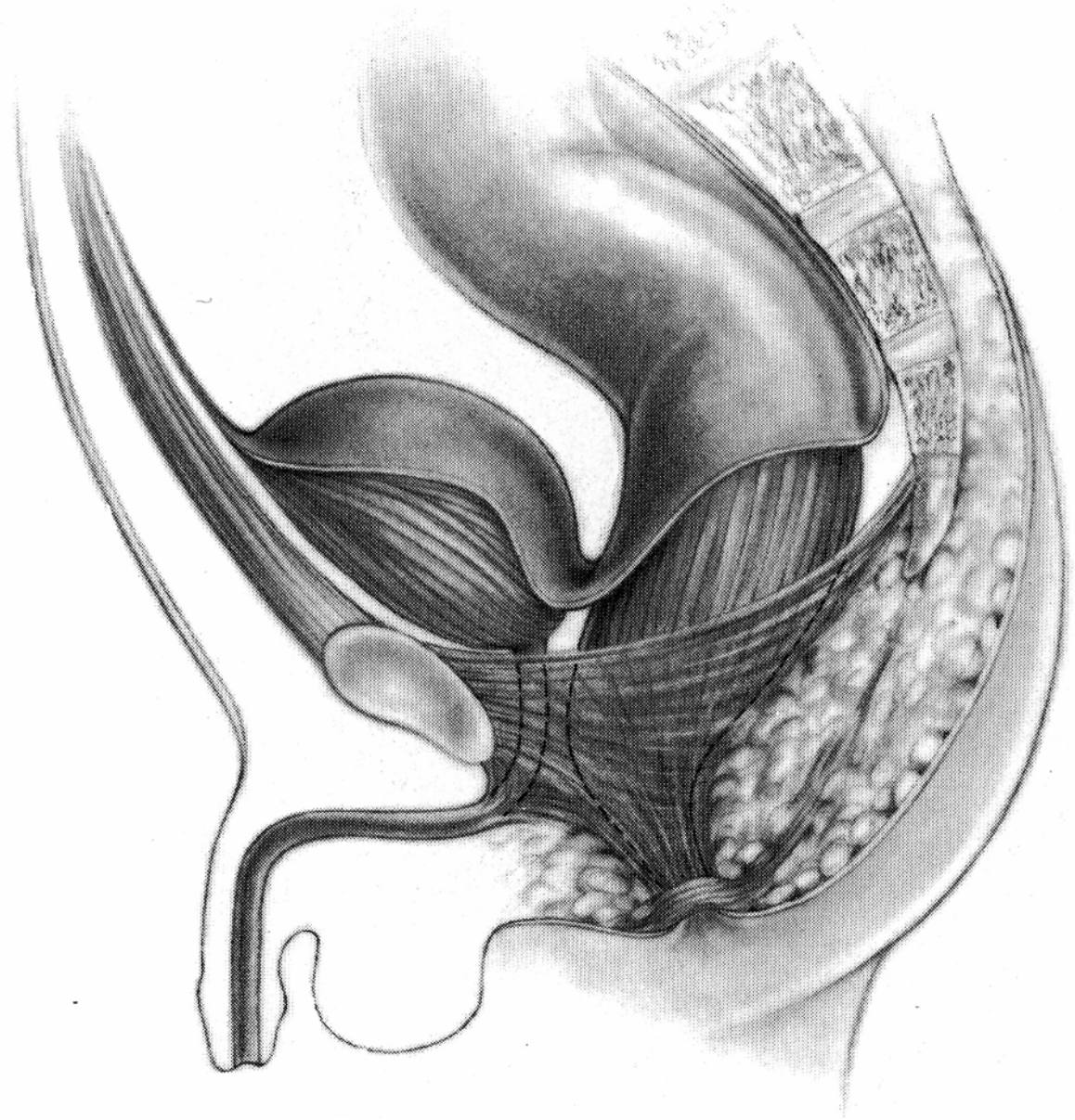


Abb. 4: Normale Anatomie des Mannes (Relaxation) [105a]

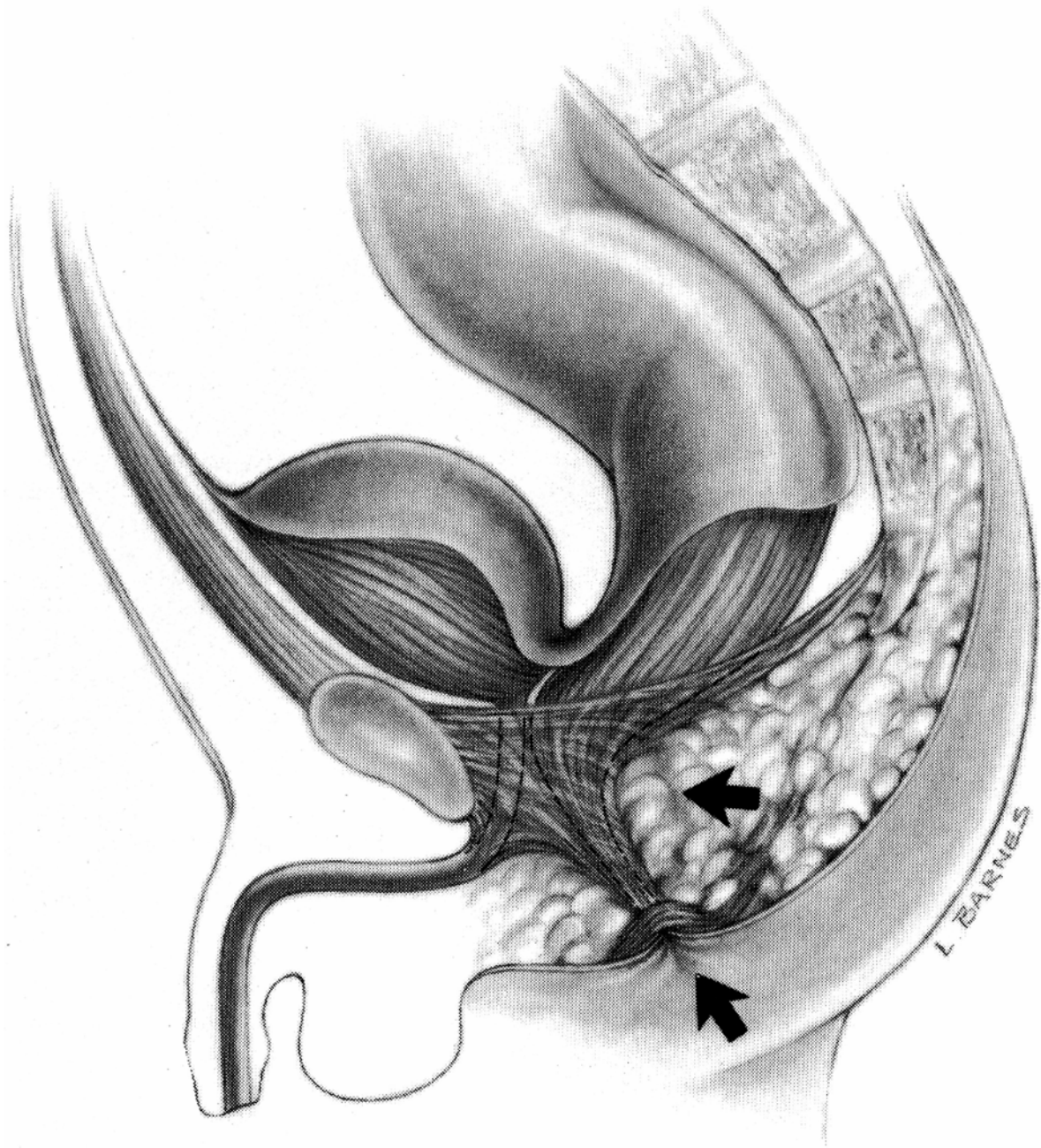


Abb. 5: Normale Anatomie des Mannes (Kontraktion) [105a]

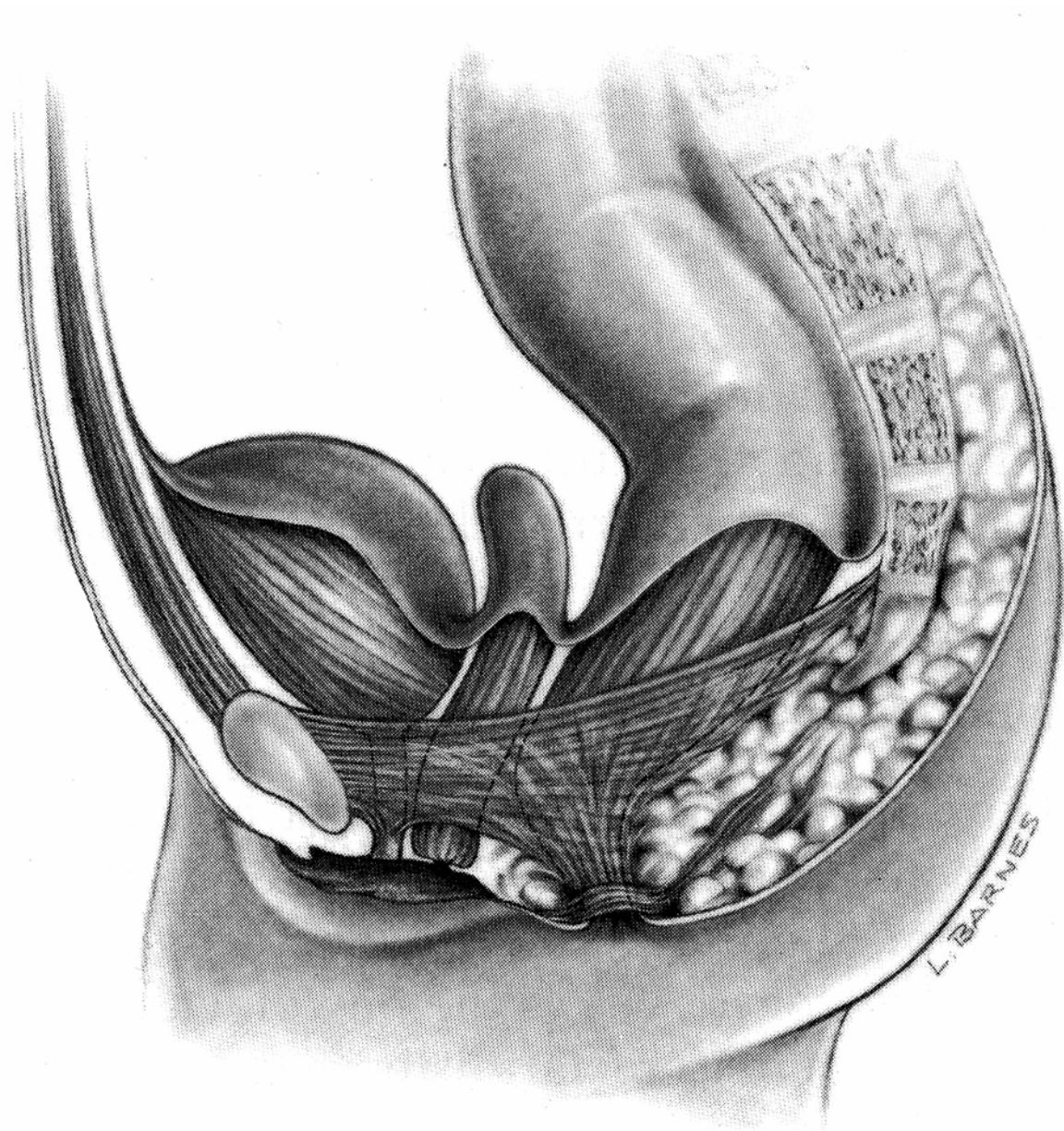


Abb. 6: Normale Anatomie der Frau [105a]

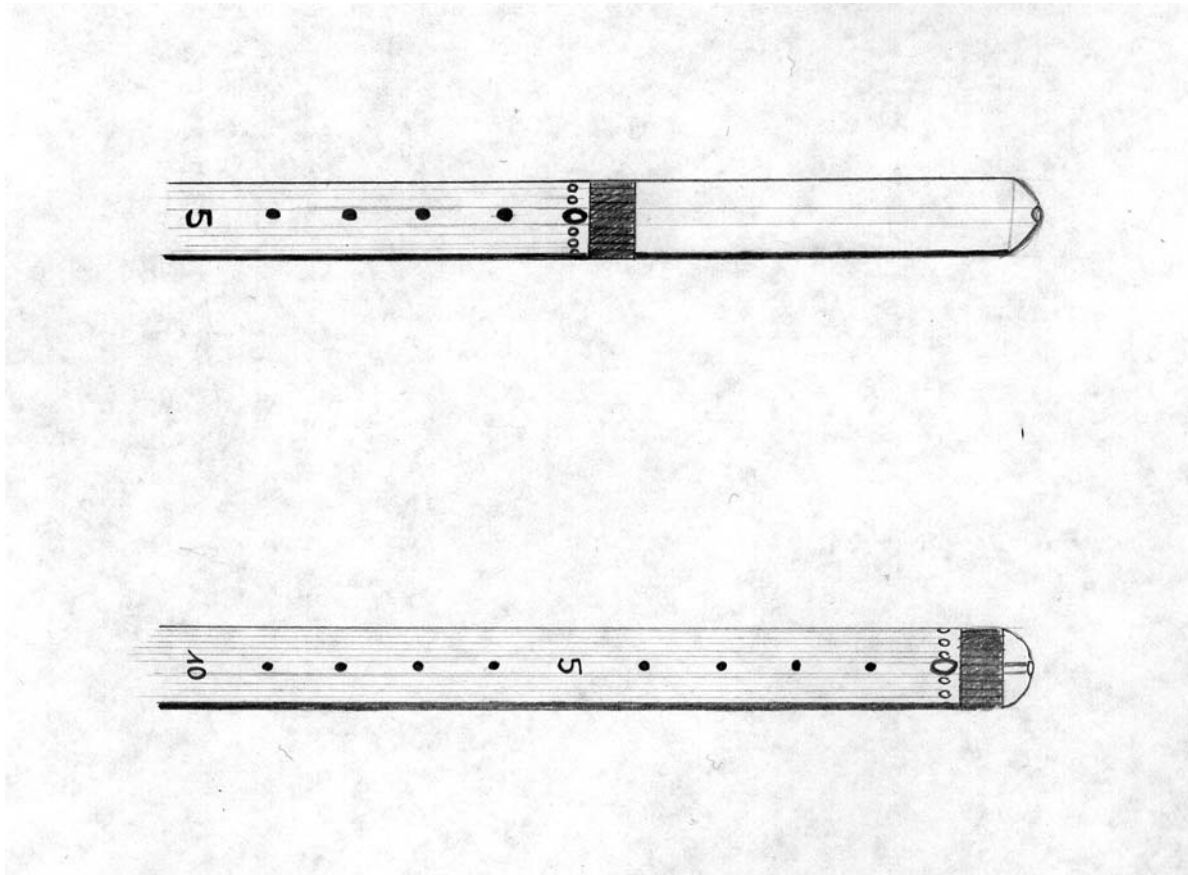


Abb. 7: Standard-8-Kanal-Perfusionskatheter (oben) und Spezialanfertigung für Säuglinge (unten)

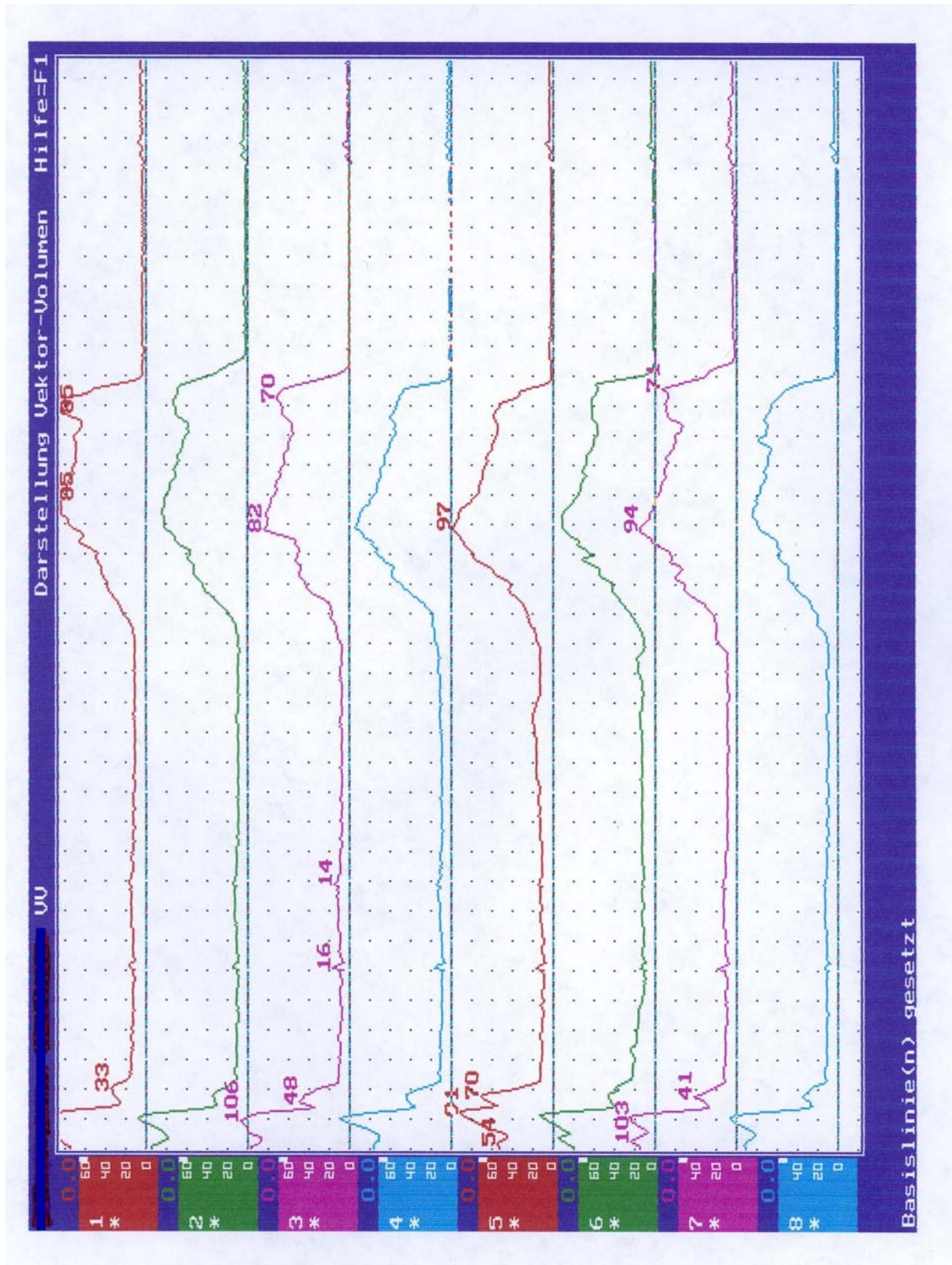


Abb. 9

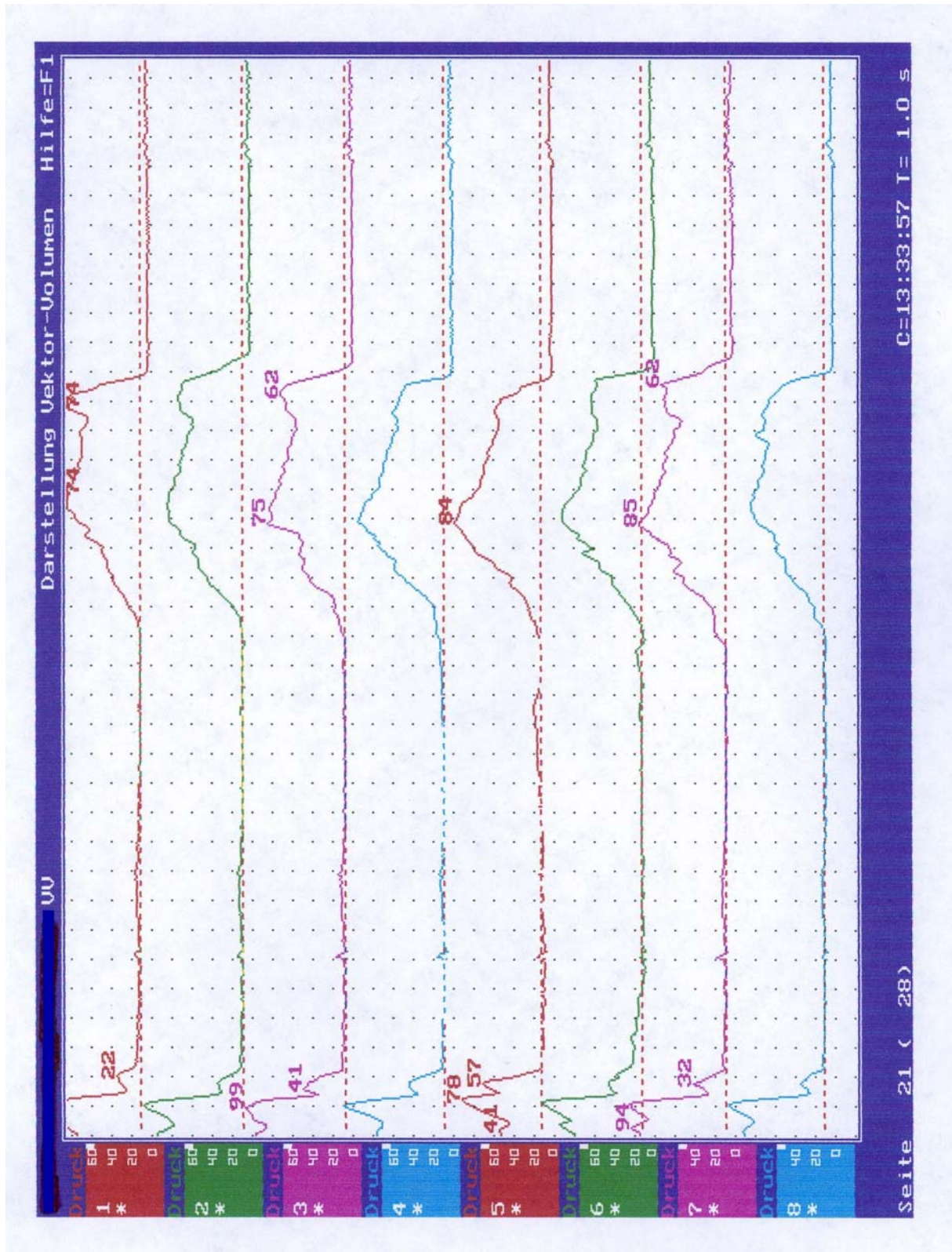


Abb. 10

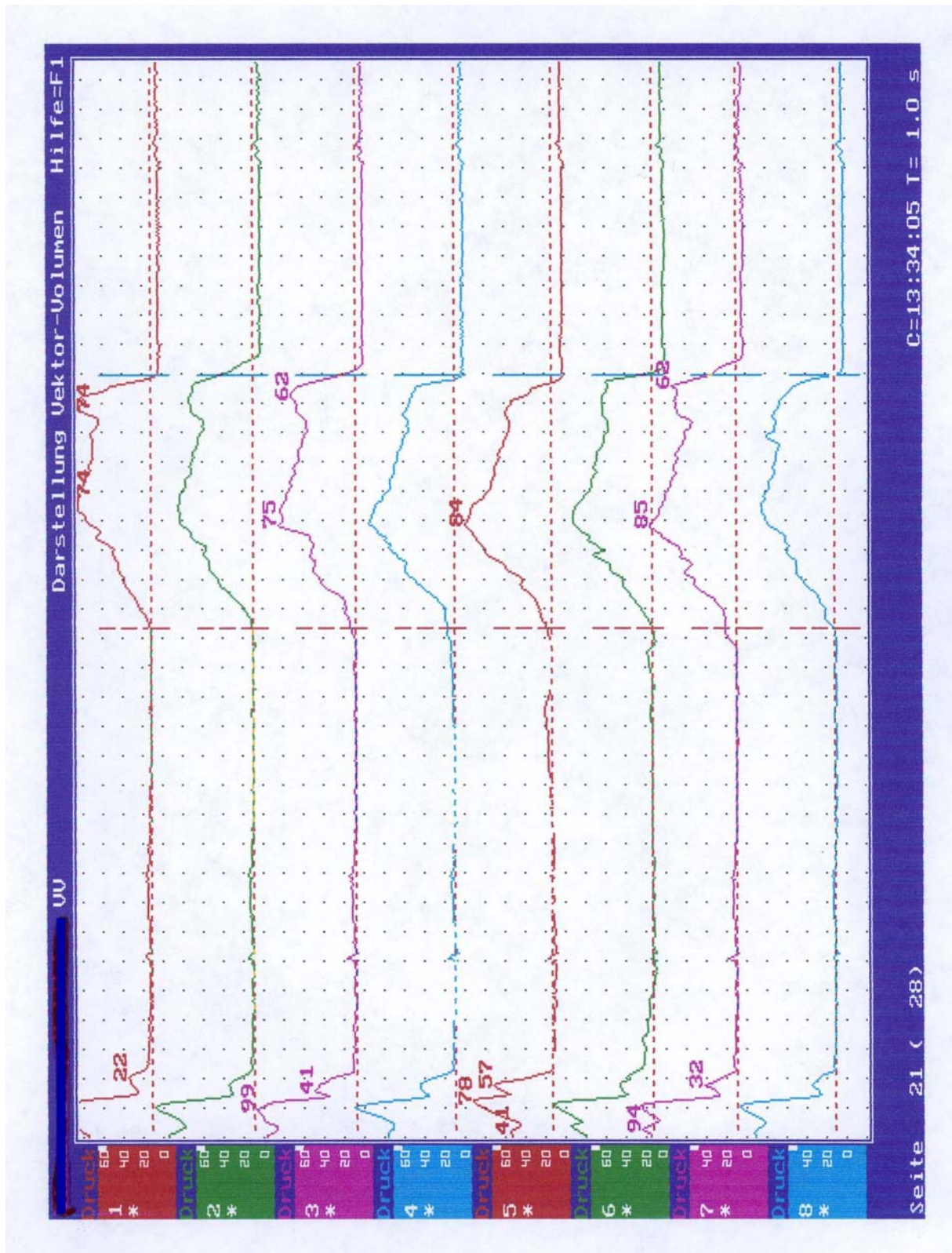


Abb. 11

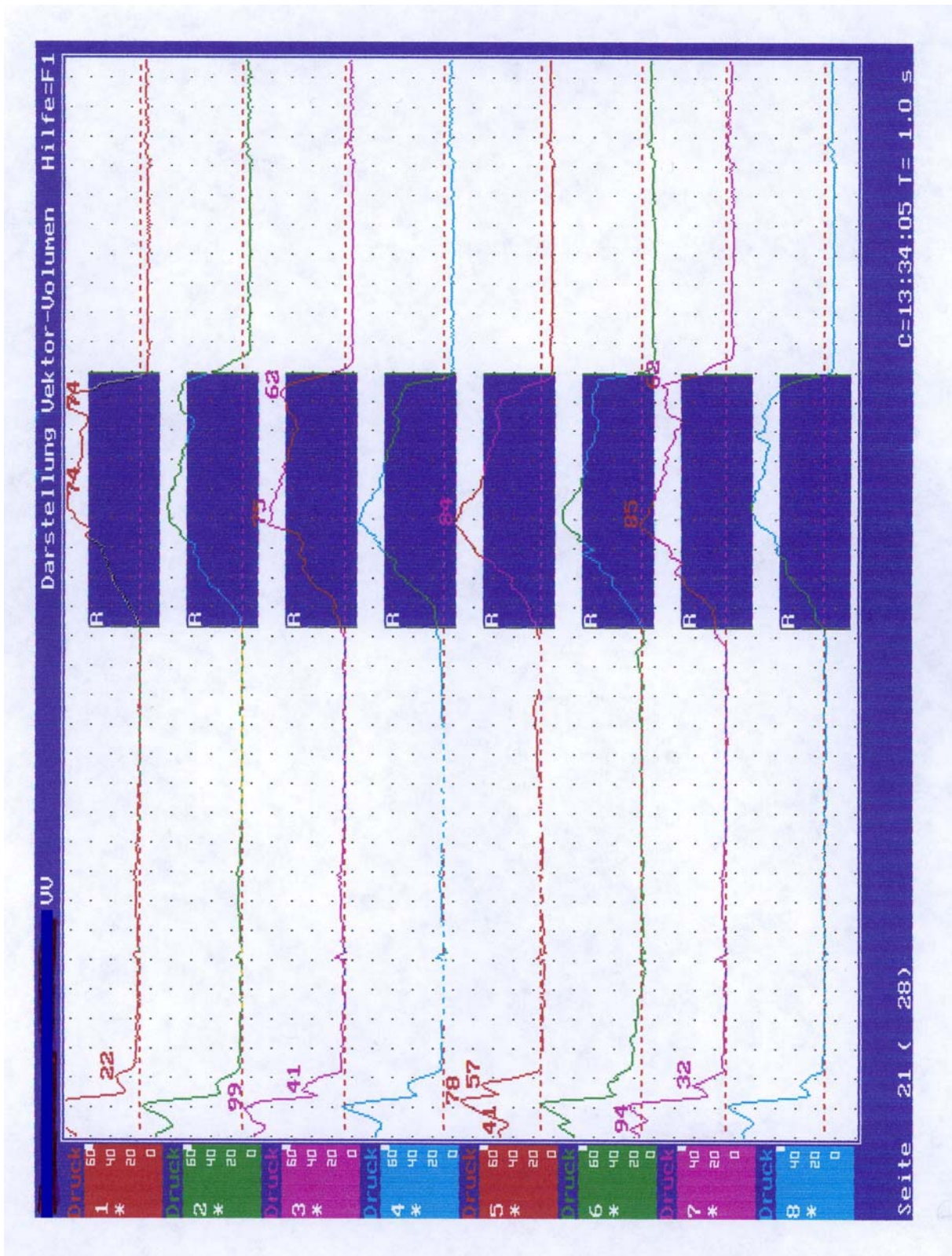


Abb. 12

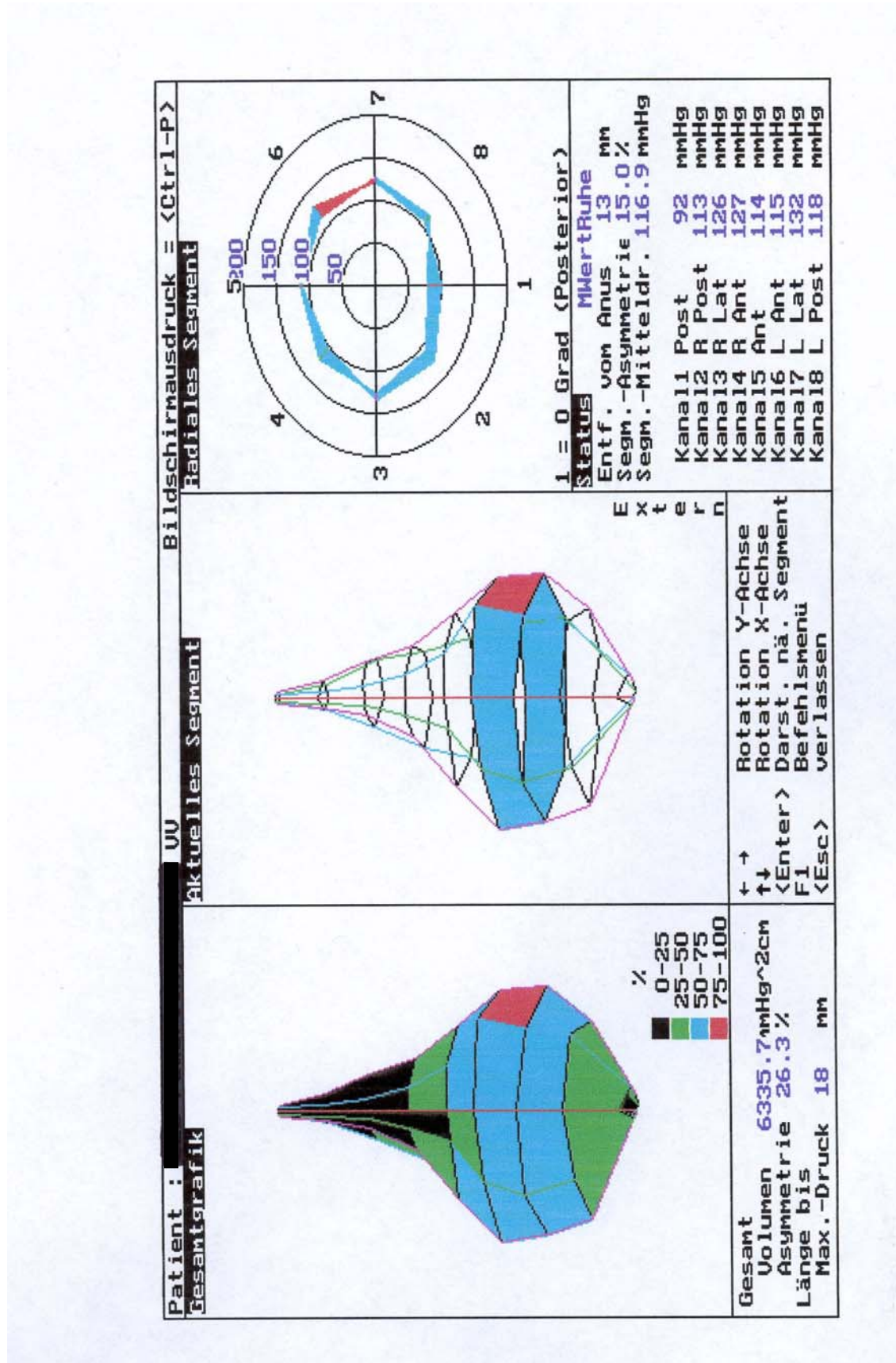


Abb. 13

**8-Kanal-Manometrie des anorektalen Kontinenzorgans
Normwerte im Säuglings- und Kindesalter**

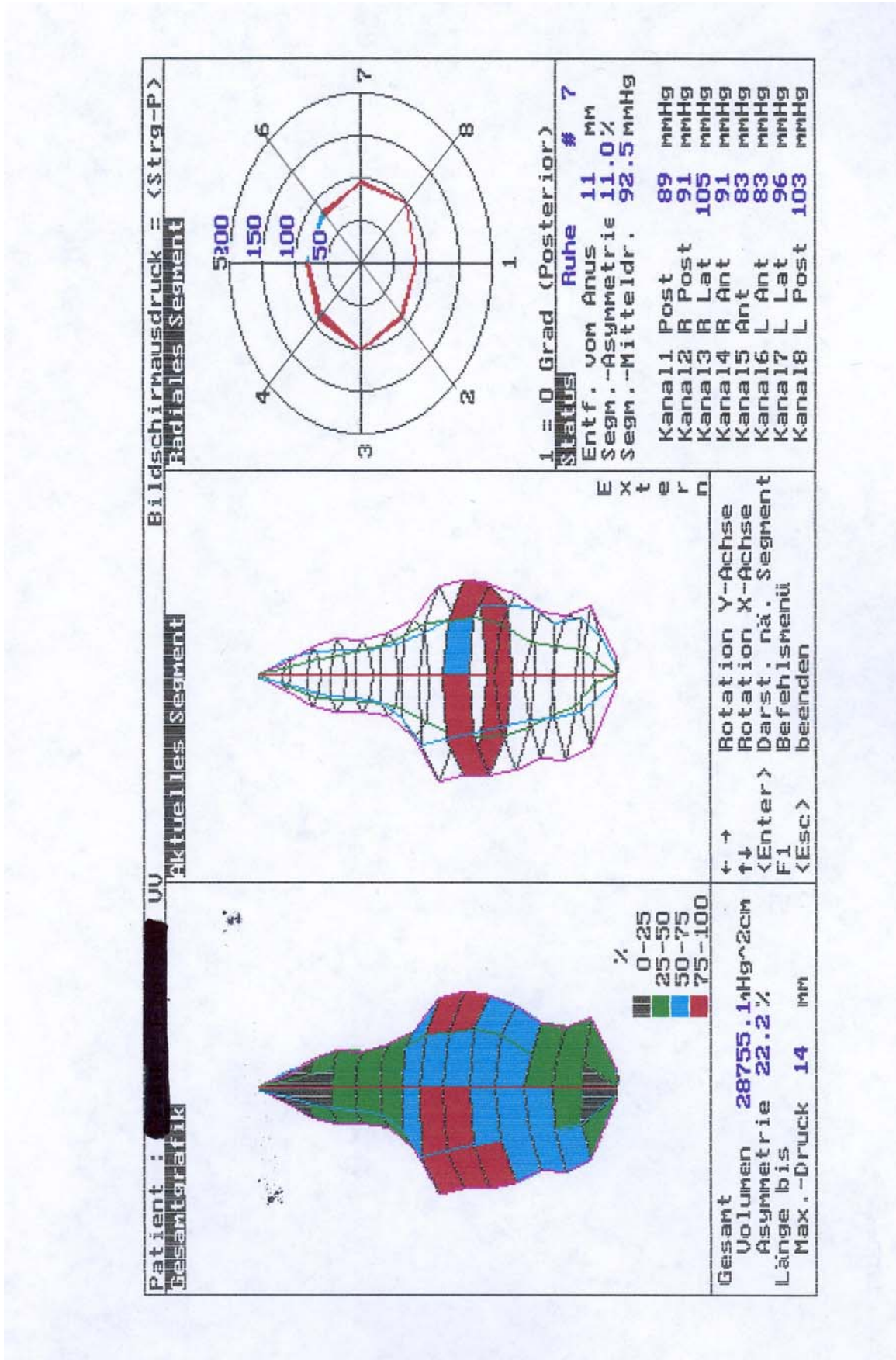


Abb. 14

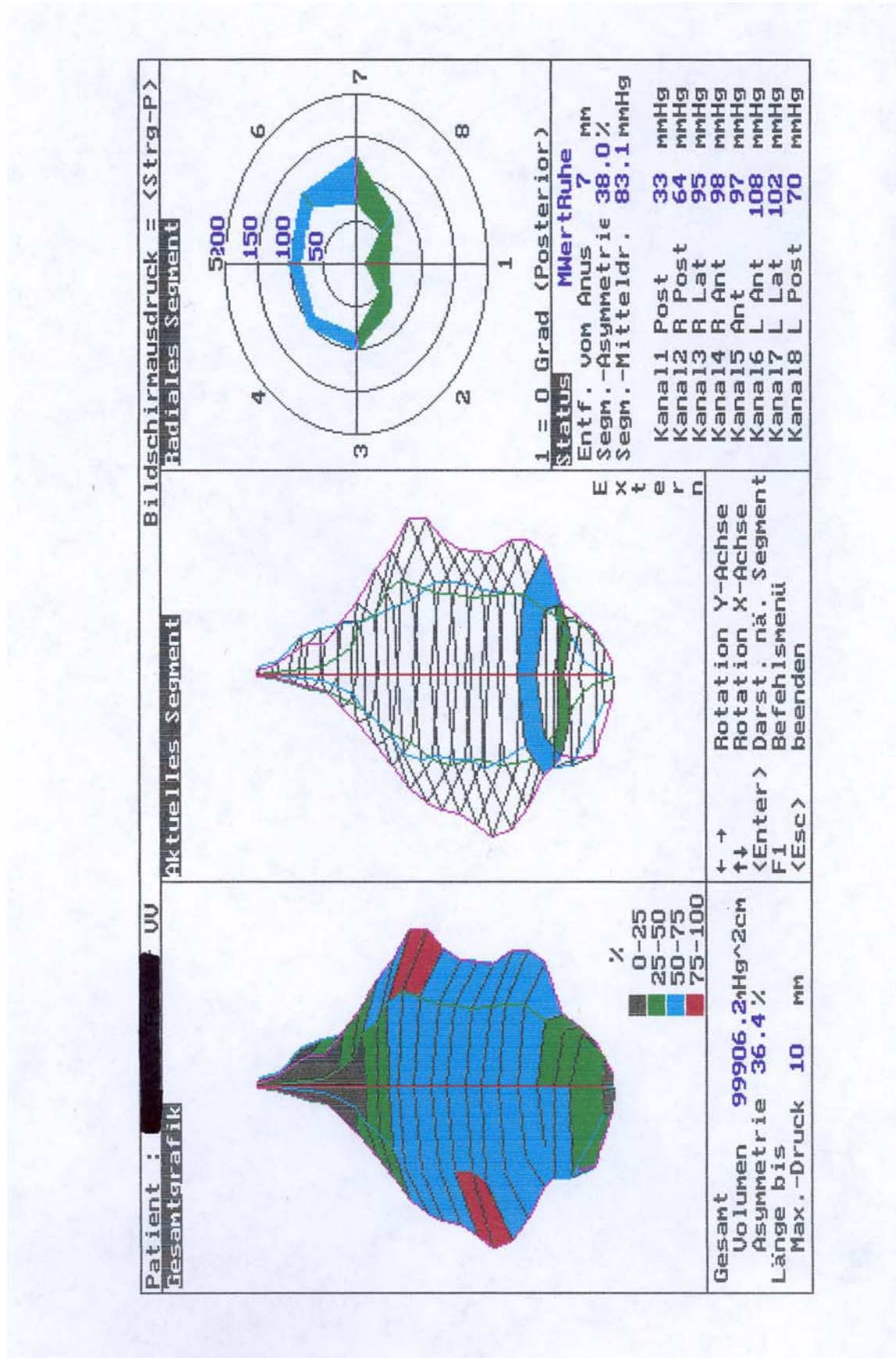


Abb. 30

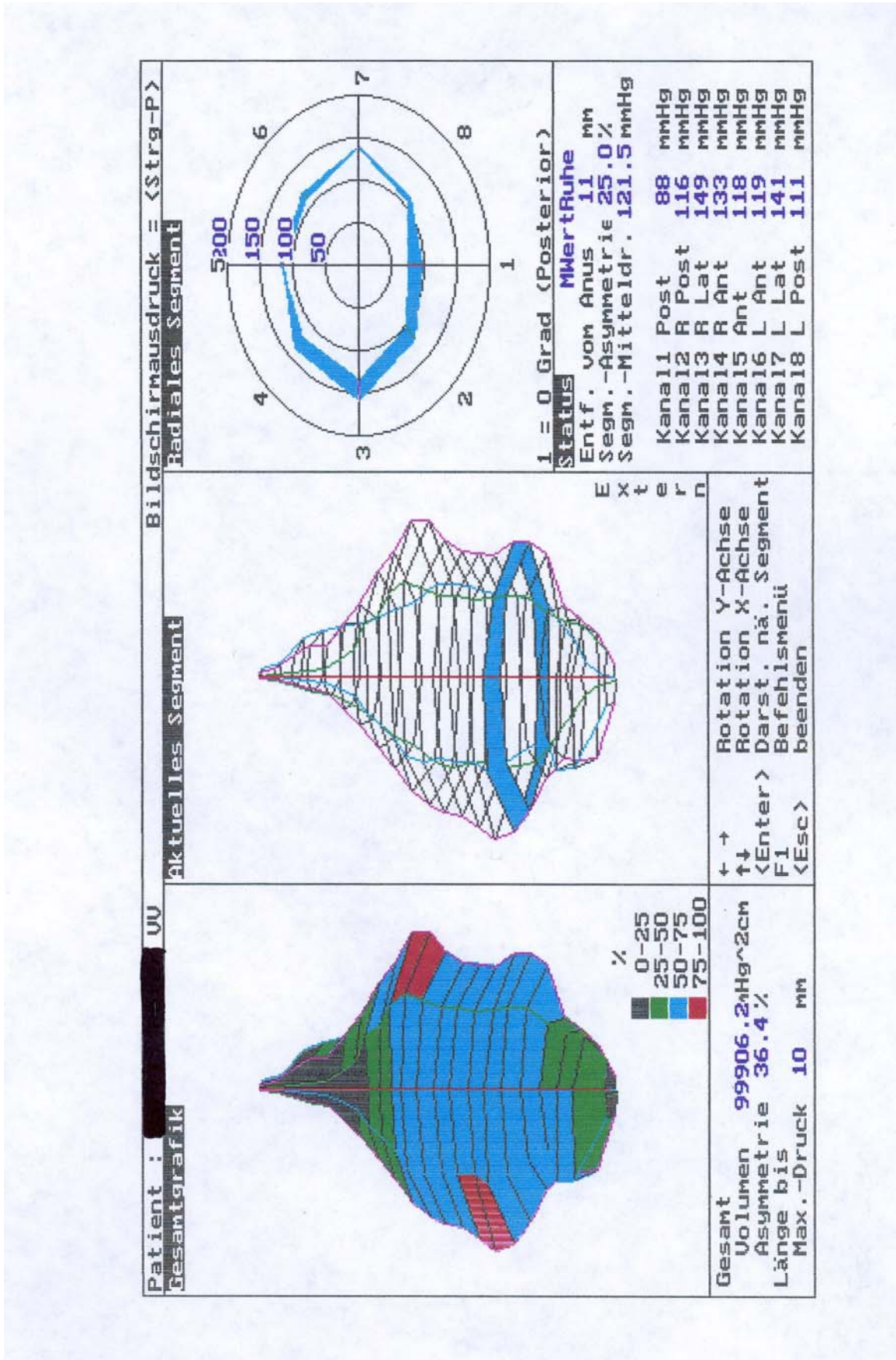


Abb. 31

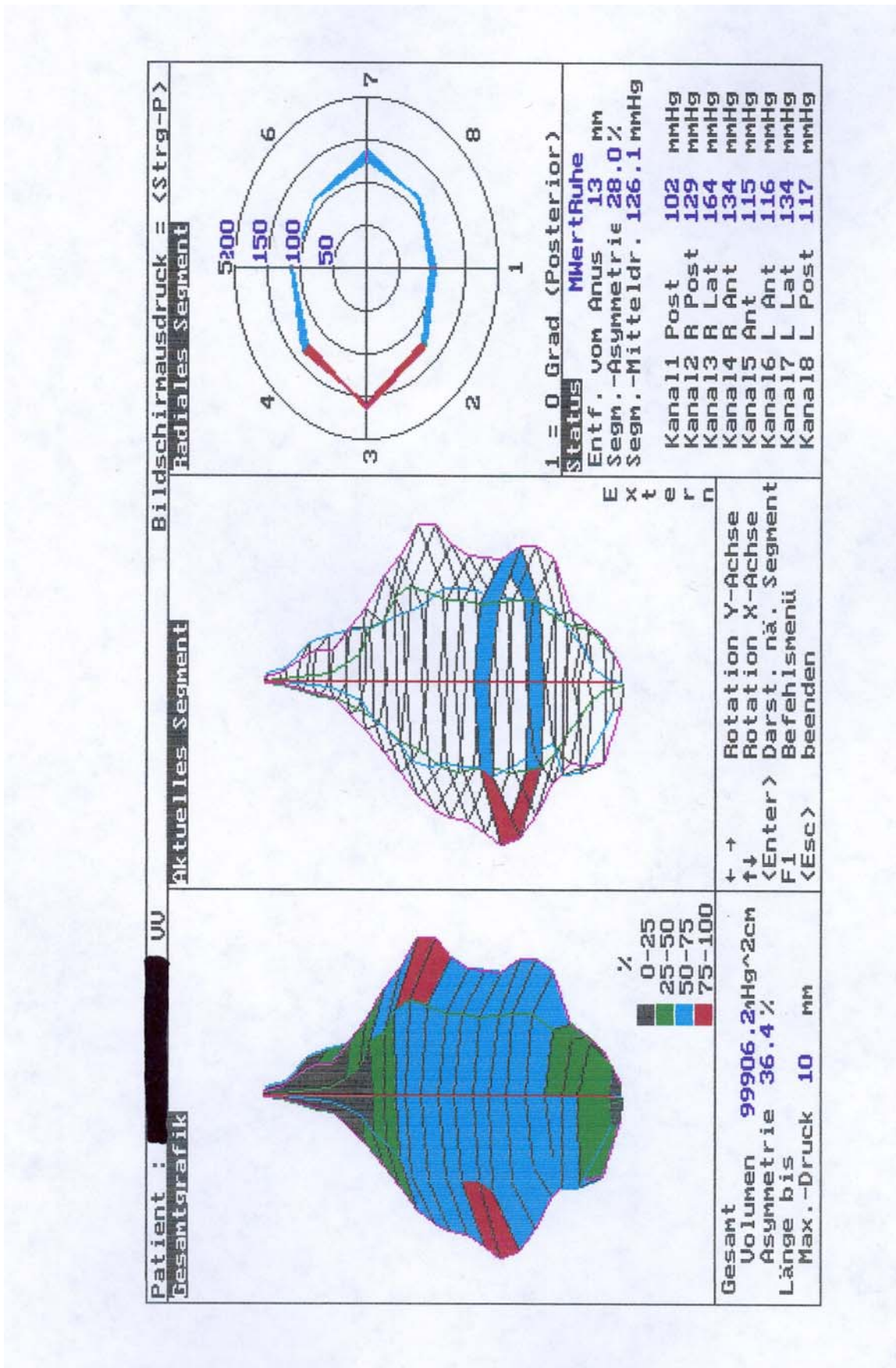


Abb. 32

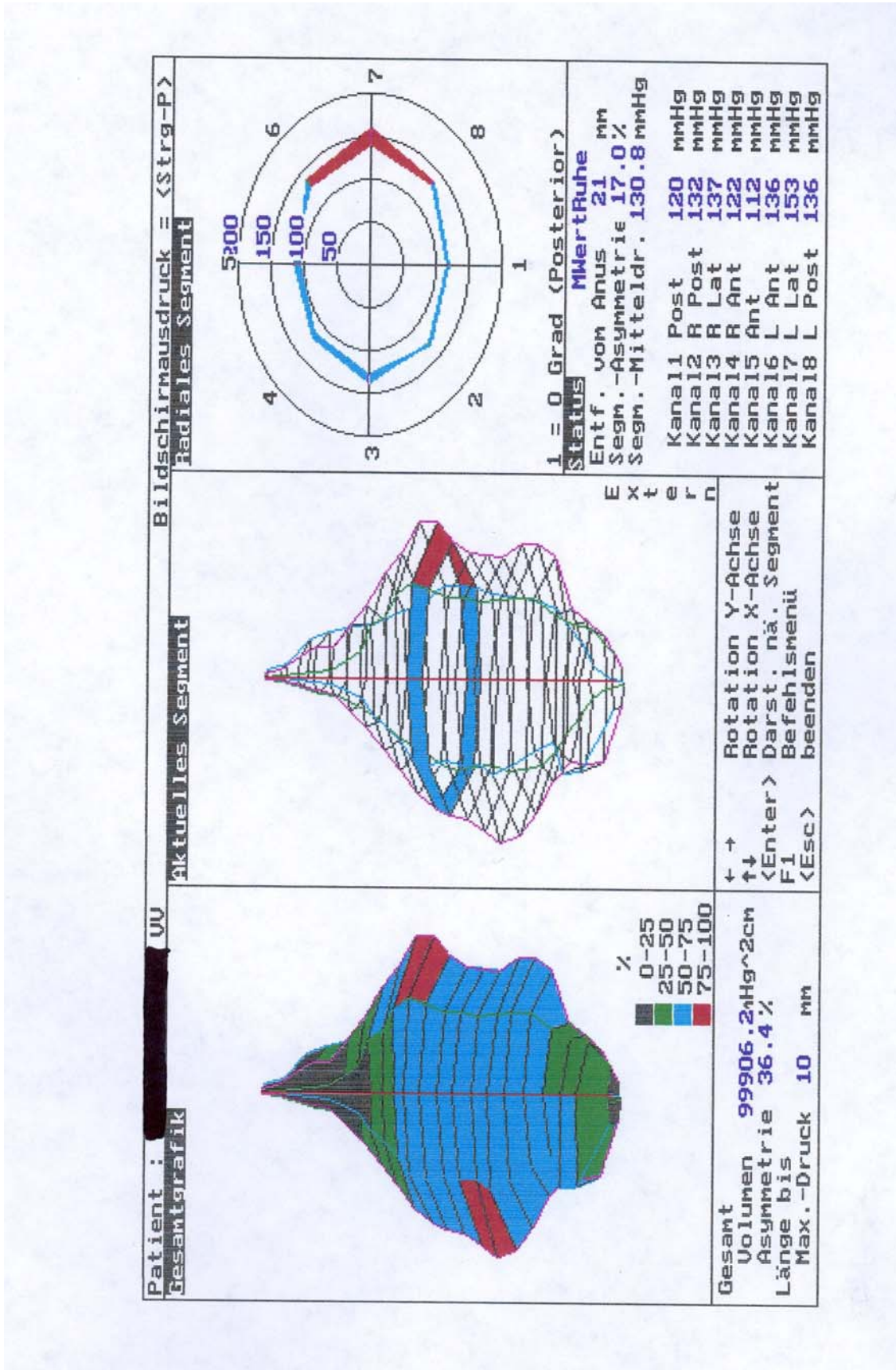


Abb. 33

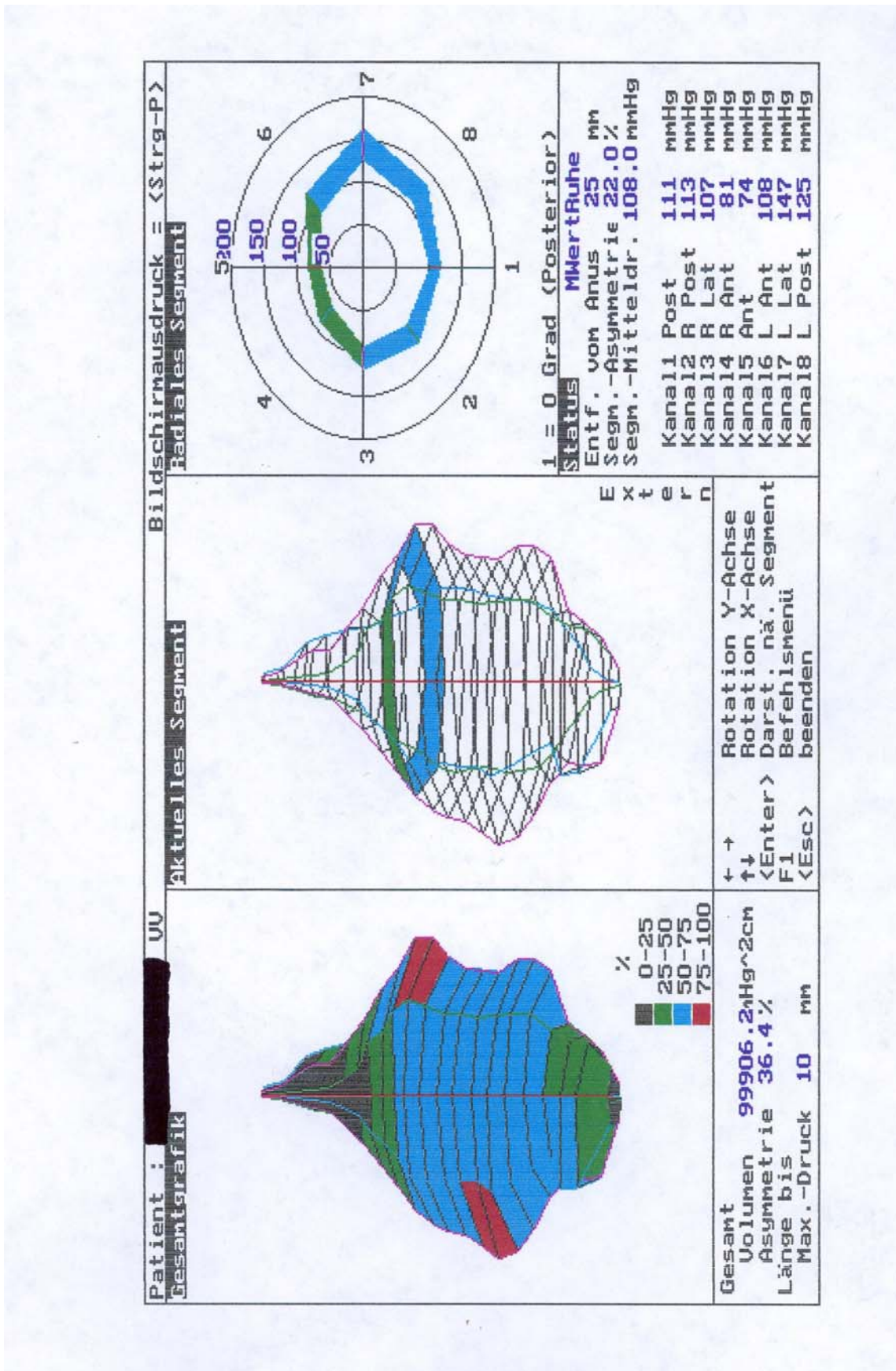


Abb. 34

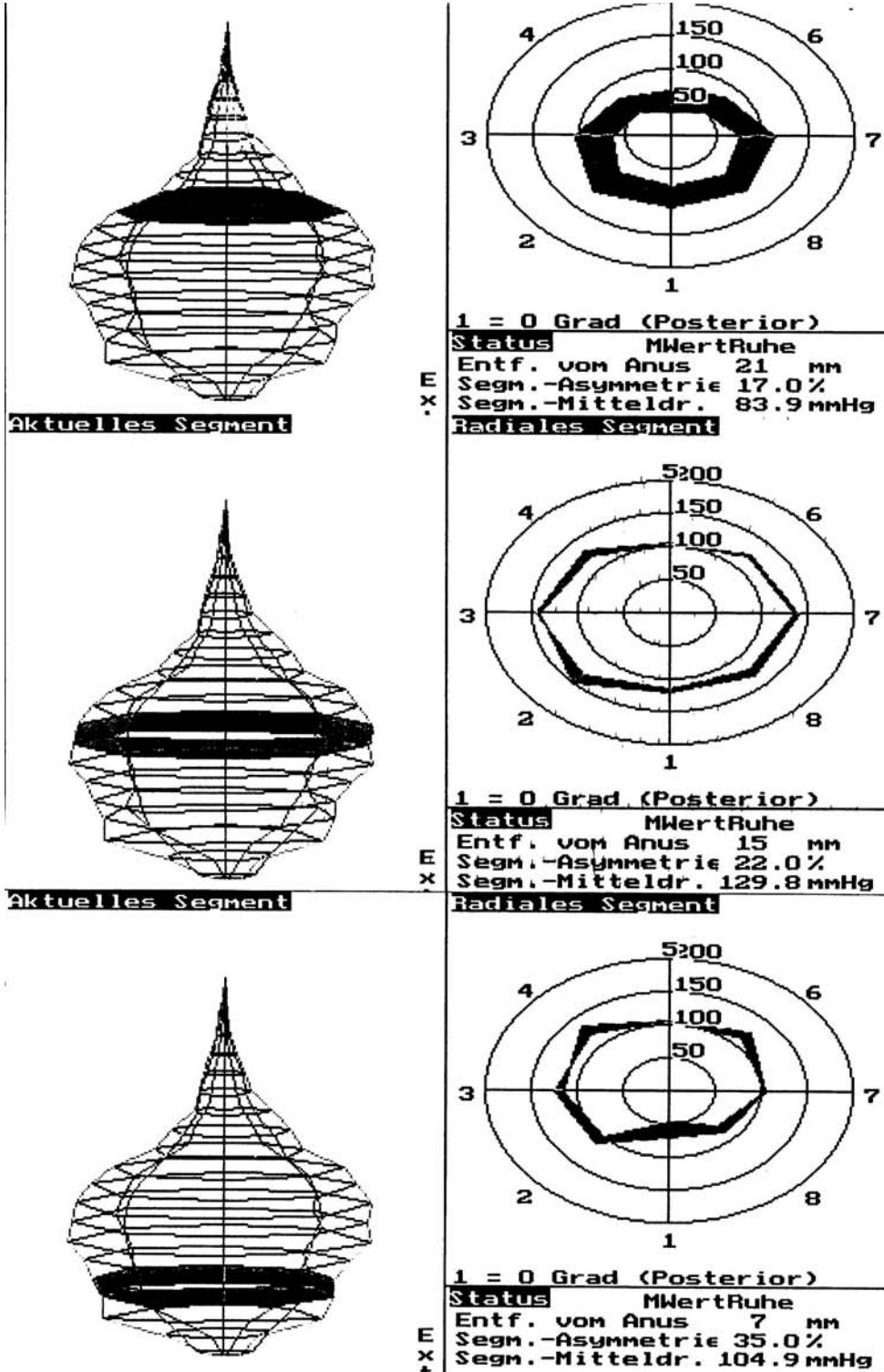


Abb. 35

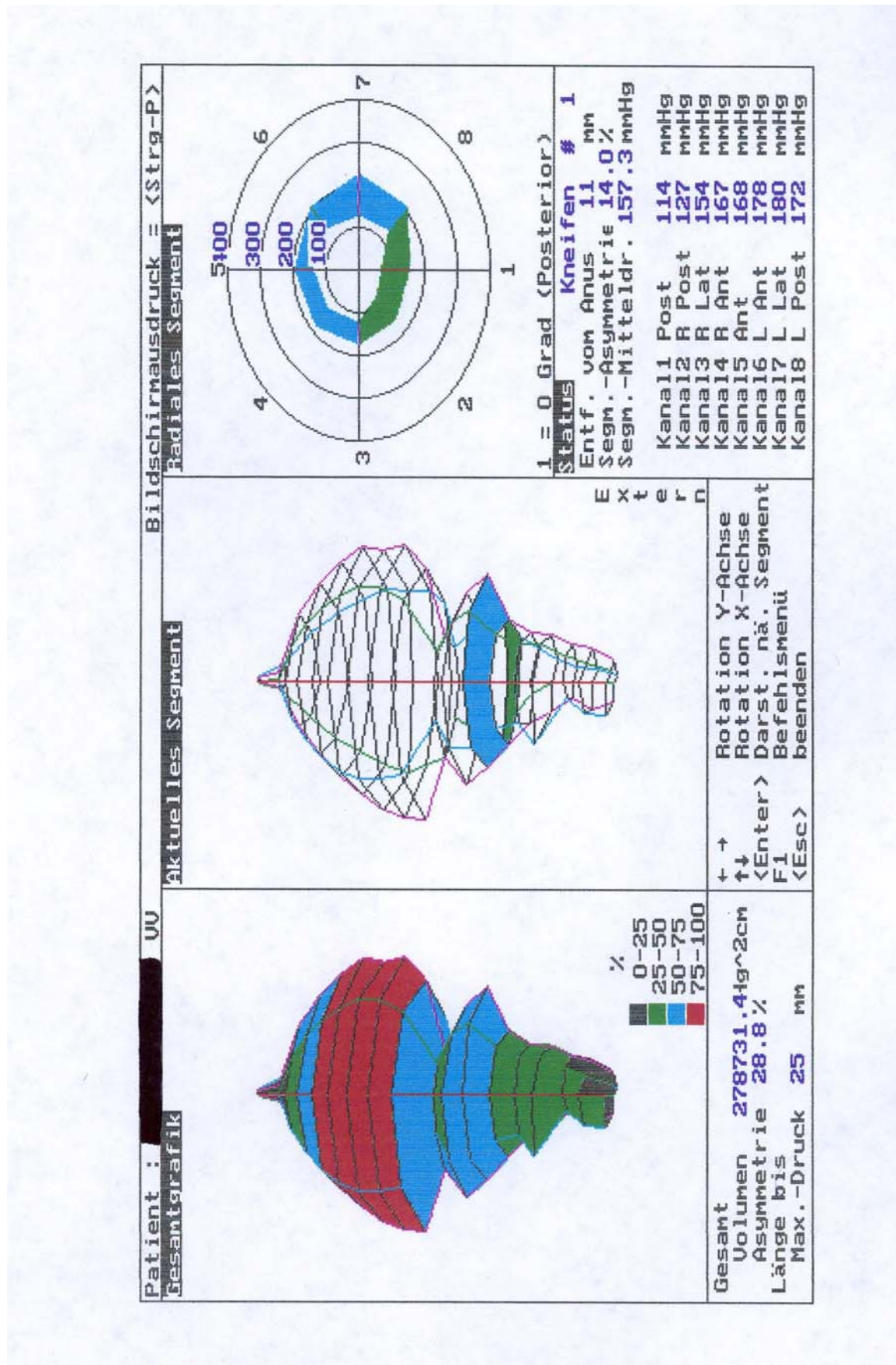


Abb. 36

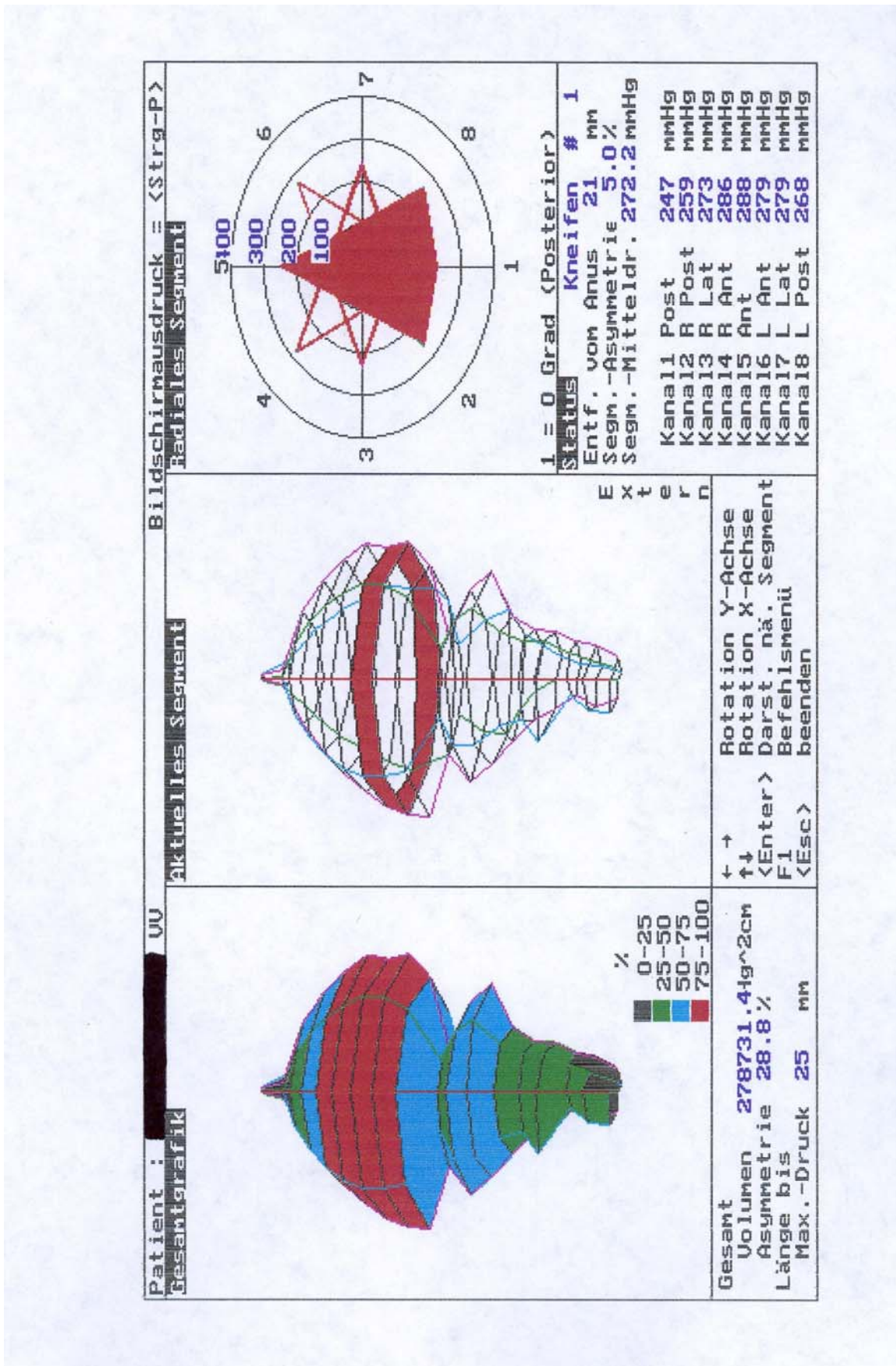


Abb. 37

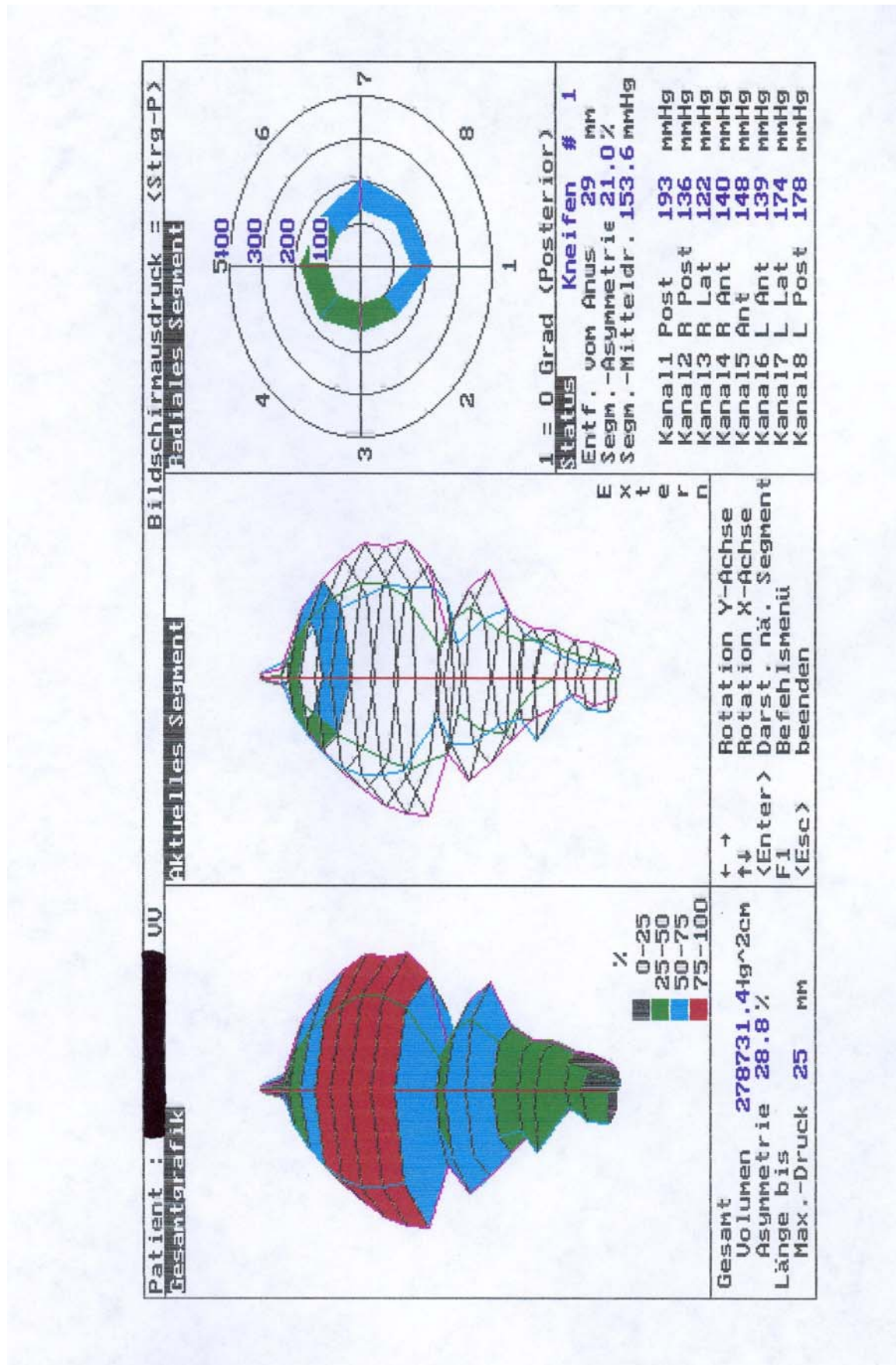


Abb. 38

7. Literatur

- [1] Akervall S, Nordgren S, Fasth S, Hulten L, Öresland T: Manovolumetry: a new method for investigation of anorectal function. *Gut* (1988), 29: 614-623
- [2] Akervall S, Nordgren S, Fasth S, Oresland T, Pettersson K, Hulten L: The effects of age, gender, and parity on rectoanal functions in adults. *Scand J Gastroenterol* (1990), 25: 1247-1256
- [3] Archibald KC, Goldsmith EI: Sphincteric electromyography. *Arch Phys Med* (1967), 48: 387
- [4] Arhan P, Faverdin C, Devroede G, Dubois F, Coupris L, Pellerin D: Manometric assessment of continence after surgery for imperforate anus. *J Pediatr Surg* (1976), 11: 157-166
- [5] Aronson MP, Lee RA, Berquist TH: Anatomy of anal sphincters and related structures in continent women studied with magnetic resonance imaging. *Obstet Gynecol* (1990), 76: 846-851
- [6] Bacher H, Schweiger W, Cerwenka H, Mischinger HJ: Use of anal endosonography in diagnosis of endometriosis of the external anal sphincter - report of a case. *Dis Colon Rectum* (1999), 42: 680-682
- [7] Bacon HE, Recio PM: Surgical anatomy of the colon, rectum and anal canal. Philadelphia: Lippincott (1962)
- [8] Bannister JJ, Abouzekry L, Read NW: Effect of aging on anorectal function. *Gut* (1987), 28: 353-357
- [9] Bayliss SM, Starling EH: The movements and the innervation of the large intestine. I: The large intestine of the dog. *J Physiol* (1900), 26: 107
- [10] Beck A: Electromyographische Untersuchungen am Sphincter ani. *Arch Ges Physiol* (1930), 224: 278
- [11] Bellmann H, Bauer W, Sieber H, Admassu G: Eine einfache Methode zur Messung des Analsphincterdruckes. *Chirurg* (1990), 61: 142-145
- [12] Benninga MA, Wijers OB, Hoeven CWP van der, Taminiou JAJM, Klopper PJ, Tytgat GNJ, Akkermans LMA: Manometry, profilometry and endosonography: normal physiology and anatomy of the anal canal in healthy children. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* (1994), 18: 68-77
- [13] Benz G, Kienle P: Die verbesserte Kontinenzleistung nach Pena-Operationen bei anorektalen Missbildungen. *Langenbeck's Arch Chir* (1998), Suppl II (Kongreßbericht): 1157-1159

- [14] Blessing H: Anorektale Druckmessung mit Microtransducer. *Helv Chir Acta* (1979), 46: 735-739
- [15] Bombeck CT, Vaz O, Salvo J de, Donahue PE, Nyhus LM: Computerized axial manometry of the esophagus. *Ann Surg* (1987), 206: 465-472
- [16] Borowitz SM, Sutphen J, Ling W, Cox DJ: Lack of correlation of anorectal manometry with symptoms of chronic childhood constipation and encopresis. *Dis Colon Rectum* (1996), 39: 400-405
- [17] Braun JC, Treutner KH, Dreuw B, Klimaszewski M, Schumpelick V: Vectormanometry for differential diagnosis of fecal incontinence. *Dis Colon Rectum* (1994), 37: 989-996
- [18] Buie LA: *Practical proctology*. Springfield, I 11: Thomas (1960)
- [19] Cali RL, Blatchford GJ, Perry RE, Pitsch RM, Thorson AG, Christensen MA: Normal variation in anorectal manometry. *Dis Colon Rectum* (1992), 35: 1161-1164
- [20] Chantraine A: Etude electromyographique chez le spina bifida avec myelomeningocele avant et apres operation. *Electromyography* (1966), 6: 257
- [21] Chantraine A: Electromyographie des sphincters stries uretral et anal humains. Etude descriptive et analytique. *Rev Neurol* (1966), 115: 396
- [22] Chantraine A, Lloyd K, Swinyard CA: The sphincter ani externus in spina bifida and myelomeningocele. *J Urol* (1966), 95: 250
- [23] Chantraine A: EMG - Examination of the anal and urethral sphincters. In: Desment, JE: *New developments in electromyography and clinical neurophysiology*. Bd. 2, Karger, Basel (1973), 421
- [24] Collier JA: Clinical application of anorectal manometry. *Gastroenterol Clin North Am* (1987), 16: 17-33
- [25] Courtney H: Anatomy of the pelvic diaphragm and anorectal musculature as related to sphincter preservation in anorectal surgery. *Am J Surg* (1950), 79: 155-173
- [26] Damon H, Henry L, Bretones S, Mellier G, Minaire Y, Mion F: Postdelivery anal function in primiparous females - ultrasound and manometric study. *Dis Colon Rectum* (2000), 43: 472-477
- [27] Eaton C: Proctologic postulates from an anatomic standpoint. Arrangement of anorectal musculature as useful surgical landmarks. *Am J Surg* (1942), 58: 64-68
- [28] Eckardt VF, Elmer T: Reliability of anal pressure measurements. *Dis Colon Rectum* (1991), 34: 72-77
- [29] Eckardt VF, Jung B, Fischer B, Lierse W: Anal endosonography in healthy subjects and patients with idiopathic fecal incontinence. *Dis Colon Rectum* (1994), 37: 235-242

- [30] Emblem R, Dhaenens G, Stien R, Morkrid L, Aasen AO, Bergan A: The importance of anal endosonography in the evaluation of idiopathic fecal incontinence. *Dis Colon Rectum* (1994), 37: 42-48
- [31] Enck P, Kuhlbusch R, Lübke HJ, Erckenbrecht JF: Age and sex and anorectal manometry in fecal incontinence. *Dis Colon Rectum* (1989), 32: 1026-1030
- [32] Enck P, Eggers E, Koletzko S, Erckenbrecht JF: Spontaneous variation of anal „resting“ pressure in healthy humans. *Am J Physiol* (1991), 261: G823-G826
- [33] Enck P, Heyer T, Gantke B, Schmidt WU, Schäfer R, Frieling T, Häussinger D: How reproducible are measures of the anal sphincter muscle diameter by endoanal ultrasound? *Am J Gastroenterol* (1997), 92: 293-296
- [34] Felt-Bersma RJF, Cuesta MA, Koorevaar M, Strijers RLM, Meuwissen SGM, Dercksen EJ, Wesdorp RIC: Anal endosonography: relationship with anal manometry and neurophysiologic tests. *Dis Colon Rectum* (1992), 35: 944-949
- [35] Festge OA, Tischer W, Rosenbaum KD, Christiansen C, Groß W: Die rektoanale Perfusionsmanometrie - Methodik, Meßwerte bei gesunden Kindern. *Zbl Chirurgie* 105 (1980), 22: 1473-1481
- [36] Floyd WF, Walls EW: Electromyography of the sphincter ani externus in man. *J Physiol* (1953), 122: 599
- [37] Fowler R: Landmarks and legends of the anal canal. *Aust NZJ Surg* (1957), 27: 1-18
- [38] Freys SM, Fuchs KH, Heimbucher J, Beese G, Thiede A: Vektorvolumen-Bestimmung des analen Sphinktersystems. *Kontinenz* (1993), 2: 67-70
- [39] Freys SM, Fuchs KH, Bussen D, Thiede A: Anorektale Durchzugs- und Vektorvolumenmanometrie. *Zentralbl Chir* (1996), 121: 652-658
- [40] Freys SM, Fuchs KH, Fein M, Heimbucher J, Sailer M, Thiede A: Inter- and intraindividual reproducibility of anorectal manometry. *Langenbeck's Arch Surg* (1998), 383: 325-329
- [41] Gabriel WB: Principles and practice of rectal surgery. Lewis (1945)
- [42] Gantke B, Schäfer A, Enck P, Lübke HJ: Sonographic, manometric, and myographic evaluation of the anal sphincters morphology and function. *Dis Colon Rectum* (1993), 36: 1037-1041
- [43] Goligher JC, Leacock AG, Brossy JJ: The surgical anatomy of the anal canal. *Br J Surg* (1955), 43: 51-61
- [44] Goligher JC: Surgery of the anus, rectum and colon. 2nd ed., London (1967): Bailliere, Tindall & Cassell

- [45] Gorsch RV: Proctologic anatomy. 2nd edition, Baltimore (1955): Williams & Wilkins, 3: part II.
- [46] Gorsch RV: The ciba collection of medical illustrations. (1962)
- [47] Goss CM: Gray`s anatomy. 28th ed., Philadelphia (1966): Lea & Febiger
- [48] Gowers WR: The automatic action of the sphincter ani. Proc Roy Soc (1877), 26: 77-84
- [49] Grant JCB: Method of anatomy. 5th ed., Baltimore (1952): Williams & Wilkins
- [50] Gutierrez JG, Oliai A, Chey WY: Manometric profile of the internal anal sphincter in man. Gastroenterology (1975), 68: 407
- [51] Hamilton WJ, Mossman HW: Hamilton, Boyd and Mossman`s human embryology. Cambridge: Heffer (1972)
- [52] Hancke E: Anorectale Manometrie mit Mikro-Transducer. Chirurg (1988), 2: 119-122
- [53] Hancock BD: Measurement of anal pressure and motility. Gut (1976), 17: 645-651
- [54] Hill JR, Kelley ML, Schlegel JF, Code CF: Pressure profile of the rectum and anus of healthy persons. Dis Colon Rectum (1960), 203
- [55] Ho YH, Tsang C, Tang CL, Nyam D, Eu KW, Seow-Choen F: Anal sphincter injuries from stapling instruments introduced transanally - randomized, controlled study with endoanal ultrasound and anorectal manometry. Dis Colon Rectum (2000), 43: 169-173
- [56] Höllwarth M: Die anorektale Manometrie im Kindesalter - Ergebnisse bei Obstipation. Wiener Med Wochenschr (1979), 11: 297-300
- [57] Holl KB von: Handbuch der Anatomie des Menschen. Jena (1897), Buch 2, Band 7, Sektion 2
- [58] Holschneider AM: Moderne Funktionsdiagnostik anorektaler Erkrankungen im Kindesalter unter besonderer Berücksichtigung der Elektromanometrie. Münch Med Wochenschr (1974), 116: 1129-1138
- [59] Holschneider AM, Metzler EM: Elektromanometrische Untersuchungen der Kontinenzleistung nach rektoanalen Fehlbildungen. Z Kinderchir (1974), 14: 405
- [60] Holschneider AM: Elektromanometrie des Enddarmes, Diagnostik der Inkontinenz und chronischen Obstipation. Urban & Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore (1977)
- [61] Holschneider AM: Manometrie des Anorektums. Z Gastroenterol (1977), 15: 215-221
- [62] Holschneider AM: Elektromanometrie des Enddarmes. Diagnostik und Therapie des Inkontinenz und der chronischen Obstipation. Urban & Schwarzenberg, München (1983), 213-219

- [63] Hugh SM Mc, Diamant NE: Anal canal pressure profile: a reappraisal as determined by rapid pullthrough technique. *Gut* (1987), 28: 1234-1241
- [64] Hugh SM Mc, Diamant NE: Effect of age, gender, and parity on anal canal pressures - contribution of impaired anal sphincter function to fecal incontinence. *Dig Dis Sci* (1987), 32: 726-736
- [65] Ihre T: Studies on anal function in continent and incontinent patients. *Scand J Gastroenterol* (1974), 9 (Suppl 25): 1-64
- [66] Issendorff WD: Die Elektromanometrie des Enddarms bei der Untersuchung der chronischen Obstipation unter besonderer Berücksichtigung der Diagnostik des M. Hirschsprung. *Z Kinderchir* (1979), 26: 27-37
- [67] Iwai N, Yanagihara J, Tokiwa K, Deguchi E, Perdzynski W, Takahashi T: Reliability of anorectal manometry in the diagnosis of Hirschsprung's disease. *Z Kinderchir* (1988), 43: 405-407
- [68] Johnson FP: The development of the rectum in the human embryo. *Am J Anat* (1914), 16: 1-57
- [69] Kaiser G, Reuter I: Betrachtungen zum anorektalen Druckprofil. *Z Kinderchir* (1976), 19: 38-49
- [70] Kawakami M: Electromyographic investigation on the human external sphincter muscle of anus. *Jap J Physiol* (1954), 4: 196
- [71] Keck JO, Staniunas RJ, Coller JA, Barrett RC, Oster ME: Computer-generated profiles of the anal canal in patients with anal fissure. *Dis Colon Rectum* (1995), 38: 72-79
- [72] Kim NK, Kim MJ, Yun SH, Sohn SK, Min JS: Comparative study of transrectal ultrasonography, pelvic computerized tomography, and magnetic resonance imaging in preoperative staging of rectal cancer. *Dis Colon Rectum* (1999), 42: 770-775
- [73] Klug W, Knoch HG: Messung der Analsphincter-Öffnungsdruck-Methode und Meßwerte bei gesunden Erwachsenen. *Z Ärztl Fortbild* (1982), 76: 875
- [74] Knoch HG: Taktisches Vorgehen bei proktologischen Erkrankungen. *Zentralbl Chir* (1973), 98: 56
- [75] Kruyt RH, Delemarre JB, Doornbos J, Vogel HJ: Normal anorectum: dynamic MR imaging anatomy. *Radiology* (1991), 179: 159-163
- [76] Lamb GM, Jode MG de, Gould SW, Spouse E, Birnie K, Darzi A, Gedroyc WMW: Upright dynamic MR defaecating proctography in an open configuration MR system. *Br J Radiol* (2000), 73: 152-155
- [77] Last RJ: *Anatomy: regional and applied*. London (1954): Churchill

- [78] Laurberg S, Swash M: Effect of aging on the anorectal sphincters and their innervation. *Dis Colon Rectum* (1989), 32: 737-742
- [79] Law PJ, Bartram CI: Anal endosonography: technique and normal anatomy. *Gastrointest Radiol* (1989), 14: 349-353
- [80] Law PJ, Kamm MA, Bartrams CI: A comparison between electromyography and anal endosonography in mapping external anal sphincter defects. *Dis Colon Rectum* (1990), 33: 370-373
- [81] Law PJ, Kamm MA, Bartram CI: Anal endosonography in the investigation of faecal incontinence. *Br J Surg* (1991), 78: 312-314
- [82] Lawson JON, Nixon HH: Anal canal pressure in the diagnosis of Hirschsprung`s disease. *J Pediatr Surg* (1967), 2: 544-552
- [83] Lawson JON: *Recent advances in pediatric surgery*. 2nd ed., New York (1969): Grune & Stratton
- [84] Lawson JON: Pelvic anatomy. II: Anal canal and associated sphincters. *Ann R Coll Surg Engl* (1974), 54: 288-300
- [85] Levi AC, Borghi F, Garavoglia M: Development of the anal canal muscles. *Dis Colon Rectum* (1991), 34: 262-266
- [86] Levy E: Anorectal musculature. *Am J Surg* (1936), 34: 141-198
- [87] Lindquist K: Anal manometry with microtransducer technique before and after restorative proctocolectomy. Sphincter function and clinical correlations. *Dis Colon Rectum* (1990), 33: 91-98
- [88] Loening-Baucke VA, Anuras S: Effects of age and sex on anorectal manometry. *Am J Gastroenterol* (1985), 80: 50-53
- [89] Loening-Baucke V, Pringle KC, Kwo EE: Anorectal manometry for the exclusion of Hirschsprung`s disease. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* (1985), 4: 342-346
- [90] Low PS, Quak SH, Prabhakaran K, Joseph VT, Chiang GS, Aiyathurai EJ: Accuracy of anorectal manometry in the diagnosis of Hirschsprung`s disease. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* (1989), 9: 342-346
- [91] Mennigen R, Rixen D, Giebel GD: Patient tailored - manometry adapted - treatment of chronic anal fissure. *Coloproctology* (1993), 3: 144-146
- [92] Meshkinpour H, Movahedi H, Welgan P: Clinical value of anorectal manometry index in neurogenic fecal incontinence. *Dis Colon Rectum* (1997), 40: 457-461
- [93] Milligan ETC, Morgan CN: Surgical anatomy of the anal canal - muscles of the anal canal. *Lancet* (1934), 2: 1150-1156

- [94] Milligan ETC, Morgan CN: Surgical anatomy of the anal canal with special reference to anorectal fistulae. *Lancet* (1934), 2: 1213-1217
- [95] Morgan CN, Thompson HR: Surgical anatomy of the anal canal, with special reference to the surgical importance of the internal sphincter and conjoint longitudinal muscle. *Ann R Coll Surg* (1956), 19: 88
- [96] Moroz SP, Espinoza J, Cumming WA, Diamant NE: Lower esophageal sphincter function in children with and without gastroesophageal reflux. *Gastroenterol* (1976), 71: 236-241
- [97] Mortensen N: Rectal and anal endosonography. *Gut* (1992), 33: 148-149
- [98] Neumann U, Völzer JU: Die manometrische Beweisführung des Therapieerfolges bei der konservativen Behandlung anorektaler Erkrankungen. *Coloproctology* (1994), 16: 366-370
- [99] Nielsen MB, Hauge C, Rasmussen OØ, Sørensen M, Pedersen JF, Christiansen J: Anal sphincter size measured by endosonography in healthy volunteers-effect of age, sex and parity. *Acta Radiol* (1992), 33: 453-456
- [100] Nievelstein RAJ, Vos A, Valk J: MR imaging of anorectal malformations and associated anomalies. *Eur J Radiol* (1998), 8: 573-581
- [101] Oh C, Kark A: Anatomy of the external anal sphincter. *Br J Surg* (1972), 59: 717-723
- [102] Paetzel C, Strotzer M, Furst A, Rentsch M, Lenhart M, Feuerbach S: Dynamic MR defecography for diagnosis of combined functional disorders of the pelvic floor in proctology. *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* (2001), 173: 410-415
- [103] Parks AG, Porter NH, Melzac J: Experimental study of the reflex mechanism controlling the muscles of the pelvic floor. *Dis Colon Rectum* (1962), 5: 407
- [104] Pederson IK, Christiansen JA: A study of the physiological variation in anal manometry. *Br J Surg* (1989), 76: 69-71
- [105] Pena A: Anatomical considerations relevant to fecal continence. New York, *Seminars in Surgical Oncology* (1987), 3: 141-145
- [105a] Pena A: Atlas of surgical management of anorectal malformations. Important basic considerations. Springer Verlag New York Berlin Heidelberg (1990), 3
- [106] Perry RE, Blatchford GJ, Christensen MA, Thorson AG, Attwood SEA: Manometric diagnosis of anal sphincter injuries. *Am J Surg* (1990), 159: 112-117
- [107] Poos RJ, Frank J, Bittner R, Beger HG: Influence of age and sex on anal sphincters: manometric evaluation of anorectal continence. *Eur Surg Res* (1986), 18: 343-348

- [108] Popowsky J: Zur Entwicklungsgeschichte der Dammuskulatur beim Menschen. Anat Heft (1899), 12: 15-48
- [109] Puni R, Hall AS, Coutts GA, Souza NM de: Development of an insertable surface coil for magnetic resonance imaging of the anal sphincter (abstract). Br J Radiol (1995), 68: 679
- [110] Psychyrembel Klinisches Wörterbuch, Walter de Gruyter Berlin-New York, 265. Auflage (1990), 785
- [111] Rasmussen OØ, Sørensen M, Tetzschner T, Christiansen J: Dynamic anal manometry: physiological variations and pathophysiological findings in fecal incontinence. Gastroenterology (1992), 103: 103-113
- [112] Rasmussen OØ, Puggaard L, Christiansen J: Anal sphincter repair in patients with obstetric trauma - age affects outcome. Dis Colon Rectum (1999), 42: 193-195
- [113] Read MG, Read NW, Barber DC, Duthie HL: Effects of loperamide on anal sphincter function in patients complaining of chronic diarrhoea with fecal incontinence and urgency. Dig Dis Sci (1982), 27: 807-814
- [114] Read NW, Haynes WG, Bartolo DCC, Hall J, Read MG, Donnelly TC, Johnson AG: Use of anorectal manometry during rectal infusion of saline to investigate sphincter function in incontinent patients. Gastroenterology (1983), 85: 105-113
- [115] Renner D: GK2 Medizinische Biometrie. Chapman & Hall (1995), 8. Auflage
- [116] Rintala R, Lindahl H, Louhimo I: Anorectal malformations-results of treatment and long-term follow-up in 208 patients. Pediatr Surg Int (1991), 6: 36-41
- [117] Sangwan YP, Coller JA, Schoetz DJ Jr, Roberts PL, Murray JJ: Relationship between manometric anal waves and fecal incontinence. Dis Colon Rectum (1995), 38: 370-374
- [118] Santorini GD: Septem decim tabulae, edit. et explici. Mich. Gerardi. Parone (1715)
- [119] Schäfer A, Enck P, Heyer T, Gantke B, Frieling T, Lübke HJ: Endosonography of the anal sphincters: incontinent and continent patients and healthy controls. Z Gastroenterol (1994), 32: 328-331
- [120] Schäfer R, Heyer T, Gantke B, Schäfer A, Frieling T, Häussinger D, Enck P: Anal endosonography and manometry - comparison in patients with defecation problems. Dis Colon Rectum (1997), 40: 293-297
- [121] Schärli AF: Die angeborenen Mißbildungen des Rektums und des Anus. Aktuelle Probleme in der Chirurgie. Bern-Stuttgart-Wien (1971): H. Huber
- [122] Schärli AF: Funktionelle Untersuchungen beim Morbus Hirschsprung. Pädiatr Pädol (1972), Suppl 2: 32

- [123] Schaube J, Michaelis B, Eggers E, Herz R: Methodik der Mikrotransducer-Manometrie im Analkanal. *Z Gastroenterol* (1996), Suppl 2: 100-101
- [124] Schoenenberger AW, Debatin JF, Guldenschuh I, Hany TF, Steiner P, Krestin GP: Dynamic MR defecography with a superconducting open-configuration MR-system. *Radiology* (1998), 206: 641-646
- [125] Schuster MM: Motor action of rectum and anal sphincters in continence and defaecation. In: *Handbook of Physiology, Sect 6, Alimentary canal IV*. Am Phys Soc (1968), Washington D.C.
- [126] Schuster T, Kellnar S: Zum aktuellen Stand der Funktionsdiagnostik des Dickdarmes und Anorektums in der Kinderchirurgie. *Zentralbl Kinderchir* 2 (1997), W114-W135
- [127] Schuster T, Joppich I, Schneider K, Jobst G: A computerised vector manometry study of the so-called ectopic anus. *Pediatr Surg Int* (2000), 16(1-2): 8-14
- [128] Schuster T, Lagler F, Pflugler T, Dietz HG, Joppich I: A computerized vector manometry and MRI study in children following posterior sagittal anorectoplasty. *Pediatr Surg Int* (2001), 17: 48-53
- [129] Sentovich SM, Blatchford GJ, Rivela LJ, Lin K, Thorson AG, Christensen MA: Diagnosing anal sphincter injury with transanal ultrasound and manometry. *Dis Colon Rectum* (1997), 40: 1430-1434
- [130] Shafik A: A new concept of the anatomy of the anal sphincter mechanism and the physiology of defaecation. The external anal sphincter: a triple-loop system. *Invest Urol* (1975), 12: 412-419
- [131] Sieber H: Die Messung des Analsphincteröffnungsdruckes (ASÖD) - in Abhängigkeit von der Position. Medizinische Dissertation, Universität Leipzig; (1988)
- [132] Soave F: Persönliche Mitteilung. (1979)
- [133] Sobotta J: Atlas der Anatomie des Menschen - Rumpf, Eingeweide, untere Extremitäten. In Putz R, Pabst R (Hrsg.). 20. Auflage, Band 2, Urban & Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore (1993), 221-222, 256
- [134] Sørensen SM, Gregersen H, Sørensen S, Djurhuus JC: Spontaneous anorectal pressure activity - evidence of internal anal sphincter contractions in response to rectal pressure waves. *Scand J Gastroenterol* (1989), 24: 115-200
- [135] Sørensen M, Tetzschner T, Rasmussen OØ, Christiansen J: Relation between electromyography and anal manometry of the external anal sphincter. *Gut* (1991), 32: 1031-1034
- [136] Sørensen M, Nielsen BM, Pedersen JF, Christiansen J: Electromyography of the internal anal sphincter performed under endosonographic guidance. *Dis Colon Rectum* (1994), 37: 138-143

- [137] Souza NM de, Puni R, Kmiot WA, Bartram CI, Hall AS, Bydder GM: MRI of the anal sphincter. *J Comput Assist Tomogr* (1995), 19: 745-751
- [138] Souza NM de, Puni R, Zbar A, Gilderdale DJ, Coutts GA, Krausz T: MR imaging of the anal sphincter in multiparous females using an endoanal coil: correlation with in vitro anatomy and appearances in fecal incontinence. *AJR Am J Roentgenol* (1996), 167: 1465-1471
- [139] Steinau G, Braun J, Töns C, Schumpelick V: The role of the internal anal sphincter in the pathogenesis of haemorrhoids. *Coloproctology* (1992), 14: 4-8
- [140] Stelzner F: Über die Anatomie des analen Sphincterorgans, wie sie der Chirurg sieht. *Z Anat EntwGesch* (1960), 121: 525-535
- [141] Stelzner F: Die anorektale Inkontinenz - Ergebnisse der chirurgischen Behandlung. *Chirurg* (1977), 48: 451-456
- [142] Stephens FD: Anatomy and function of the normal rectum and anus. A Chicago Year Book Medical Publishers Inc (1971), 14-32
- [143] Stonesifer GL, Murphy GP, Lombardo CR: The anatomy of the anorectum. *Am J Surg* (1960), 100: 666-671
- [144] Stuhldreier G, Schweizer P, Leriche C, Fleiter T: Dreidimensionale Darstellung von endorektalen Ultraschallbefunden als ergänzende Diagnostik im Kindesalter. *Langenbecks Arch Chir Suppl (Kongressbericht 1994)*, 536-541
- [145] Sultan AH, Kamm MA, Hudson CN, Thomas JM, Bartram CI: Anal-sphincter disruption during vaginal delivery. *N Engl J Med* (1993), 329: 1905-1911
- [146] Sultan AH, Nicholls RJ, Kamm MA, Hudson CN, Beynon J, Bartram CI: Anal endosonography and correlation with in vitro and in vivo anatomy. *Br Jsurg* (1993), 80: 508-511
- [147] Sultan AH, Loder PB, Bartram CI, Kamm MA, Hudson CN: Vaginal endosonography - new approach to image the undisturbed anal sphincter. *Dis Colon Rectum* (1994), 37: 1296-1299
- [148] Sultan AH, Kamm MA, Talbot IC, Nicholls RJ, Bartram CI: Anal endosonography for identifying external sphincter defects confirmed histologically. *Br J Surg* (1994), 81: 463-465
- [149] Sultan AH, Kamm MA, Hudson CN, Nicholls JR, Bartram CI: Endosonography of the anal sphincters: normal anatomy and comparison with manometry. *Clin Radiol* (1994), 49: 368-374
- [150] Sun WM, Donnelly TC, Read NW: Utility of a combined test of anorectal manometry, electromyography, and sensation in determining the mechanism of „idiopathic“ faecal incontinence. *Gut* (1992), 33: 807-813

- [151] Tamate S, Shiokawa C, Yamada C, Takeuchi S, Nakahira M, Kadowaki H: Manometric diagnosis of Hirschsprung's disease in the neonatal period. *J Pediatr Surg* (1984), 19: 285-288
- [152] Taverner D, Smiddy FG: An electromyographic study of the normal function of the external anal sphincter and pelvic diaphragm. *Dis Colon Rectum* (1959), 2: 153
- [153] Taylor BM, Beart RW Jr, Phillips SF: Longitudinal and radial variations of pressure in the human anal sphincter. *Gastroenterology* (1984), 86: 693-697
- [154] Thompson P: The myology of the pelvic floor. Newton (1899): McCorquodale
- [155] Uhlenhuth E: Problems in the anatomy of the pelvis. Philadelphia (1953): Lippincott
- [156] Varma A, Gunn J, Lindow SW, Duthie GS: Do routinely measured delivery variables predict anal sphincter outcome? *Dis Colon Rectum* (1999), 42: 1261-1264
- [157] Varma A, Gunn J, Gardiner A, Lindow SW, Duthie GS: Obstetric anal sphincter injury - prospective evaluation of incidence. *Dis Colon Rectum* (1999), 42: 1537-1543
- [158] Varma JS, Smith AW: Anorectal profilometry with the microtransducer. *Br J Surg* (1984), 71: 867-869
- [159] Verder H, Johansen K, Engbaek K: Anal tonometry. *Acta Paediatr Scand* (1973), 62: 59
- [160] Vries PA de, Friedland GW: The staged sequential development of the anus and rectum in human embryos and fetuses. *J Pediatr Surg* (1974), 9: 755-769
- [161] Walls EW: The scientific basis of medicine: annual reviews (british postgraduate medical federation). London (1963): Athlone Press, 113
- [162] Welch RW, Luckman K, Ricks PM, Drake ST, Gates GA: Manometry of the normal upper esophageal sphincter and its alterations in laryngectomy. *J Clin Invest* (1979), 63: 1036-1041
- [163] Wheatley IC, Hardy KJ, Dent J: Anal pressure studies in spinal patients. *Gut* (1977), 18: 488
- [164] Wilde FR: The anal intermuscular septum. *Br J Surg* (1948), 36: 279-285
- [165] Williams N, Scott NA, Irving MH: Effect of lateral sphincterotomy on internal anal sphincter function - a computerized vector manometry study. *Dis Colon Rectum* (1995), 38: 700-704
- [166] Williams N, Barlow J, Hobson A, Scott N, Irving M: Manometric asymmetry in the anal canal in controls and patients with fecal incontinence. *Dis Colon Rectum* (1995), 38: 1275-1280

- [167] Wilson PM: Anchoring mechanisms of the ano-rectal region. I. S Afr Med J (1967), 36: 1127, 1138
- [168] Yamana T, Oya M, Komatsu J, Takase Y, Mikuni N, Ishikawa H: Preoperative anal sphincter high pressure zone, maximum tolerable volume, and anal mucosal electrosensitivity predict early postoperative defecatory function after low anterior resection for rectal cancer. Dis Colon Rectum (1999), 42: 1145-1151
- [169] Yang YK, Wexner SD: Anal pressure vectorgraphy is of no apparent benefit for sphincter evaluation. Int J Colorectal Dis (1994), 19: 745-751
- [170] Zbar AP, Souza NM de, Puni R, Kmiot WA: Comparison of endoanal magnetic resonance imaging with surgical findings in perirectal sepsis. Br J Surg (1998), 85: 111-114
- [171] Zbar AP, Kmiot WA, Aslam M, Williams A, Hider A, Audisio RA, Chiappa A, Souza N de: Use of vector volume manometry and endoanal magnetic resonance imaging in the adult female for assessment of anal sphincter dysfunction. Dis Colon Rectum (1999), 42: 1411-1418
- [172] Zetterström J, Mellgren A, Jensen LL, Wong WD, Kim DG, Lowry AC, Madoff RD, Congilosi SM: Effect of delivery on anal sphincter morphology and function. Dis Colon Rectum (1999), 42: 1253-1260

Ich möchte mich bei Herrn Prof. Dr. I. Joppich für die Überlassung des Themas und bei Herrn Dr. T. Schuster für die stets hilfsbereite und immer wieder anregende Betreuung dieser Arbeit bedanken. Des Weiteren ein herzliches Dankeschön an Fr. Selde, welche mich sehr engagiert in die Manometrie und ihre unterschiedlichen Messmethoden eingearbeitet hat und mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand. Darüber hinaus gilt mein besonderer Dank allen Eltern, Kindern und Jugendlichen, insbesondere des Haarer Sportvereins, welche sich als Probanden zur Verfügung gestellt und so diese Arbeit ermöglicht haben. Der größte Dank jedoch geht an meinen Mann Volker, an meine Familie sowie an meine Freundin Brie, ohne all deren psychologische Unterstützung und wiederholter Ermutigungen, zahlreichen Einladungen zum Abendessen, unzähligen Kannen Tee und der Abnahme anderer Verpflichtungen diese Arbeit nicht zum Abschluss gekommen wäre.

Lebenslauf

- 07.09.70 Geburt in München als Tochter des Speditionskaufmannes Johann Jobst und der Auslandskorrespondentin Eva Maria Jobst
Familienstand: verheiratet seit 15.09.00 mit Volker Schimscha, Dipl.-Ing. für Mikro- und Feinwerktechnik
- 1976 - 1980 Grundschule Haar am Jagdfeldring
- 1980 - 1989 Ernst-Mach-Gymnasium Haar, Abschluss Abitur
- 09/89 - 01/92 Ausbildung zur Arzthelferin in der Allgemeinarztpraxis Dr. med. E. Allwein, München
- 02/92 – 04/92 Tätigkeit als Arzthelferin in o.a. Praxis
- 1992 - 1999 Studium der Humanmedizin an der LMU München
- 1995 - 1997 Famulatur in der Kinderchirurgischen Klinik des Dr. von Hauner`schen Kinderspitals München, Prof. Dr. I. Joppich, in der Klinik und Poliklinik für Kinderchirurgie der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Prof. Dr. O.-A. Festge und in der Kinderchirurgischen Abteilung des Städt. Krankenhauses München-Schwabing, Prof. Dr. F. Höpner
- 1998 - 1999 Praktisches Jahr in der 1. Med. Abteilung, Gastroenterologie, Prof. Dr. W. Schmitt (Innere-Tertial) und der 1. Chir. Abteilung, Viszeral-/Anal- und Rektumchirurgie, Prof. Dr. B. Günther und Dr. D. Staimmer (Chirurgie-Tertial) des Städt. Krankenhauses München-Neuperlach sowie in der Kinderpoliklinik der Universität München, Prof. Dr. D. Reinhardt (Pädiatrie als Wahlfach)
- 18.5.99 Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
- 1995 – 1999 Praktische Tätigkeiten in der Kinderchirurgischen Abteilung des Dr. von Hauner`schen Kinderspitals München, Prof. Dr. I. Joppich
- 07/99 – 12/00 Ärztin im Praktikum in der Viszeral-/Anal- und Rektumchirurgie (1. Chir. Abteilung) des Städt. Krankenhauses München-Neuperlach, Prof. Dr. B. Günther und Dr. D. Staimmer
- 01/01-02/02 Assistenzärztin in der Viszeral-/Anal- und Rektumchirurgie (1. Chir. Abteilung) des Städt. Krankenhauses München-Neuperlach, Prof. Dr. B. Günther und Dr. R. Ruppert
- 03/02-02/03 Assistenzärztin in der Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie des Städt. Krankenhauses München-Schwabing, Dr. E. Höcherl (Unfallchirurg. Ausbildungsjahr)

ab 03/03 Assistenzärztin in der Viszeral-/Anal- und Rektumchirurgie (1. Chir. Abteilung) des Städt. Krankenhauses München-Neuperlach, Prof. Dr. B. Günther und Dr. R. Ruppert