

Aus dem Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde
(Direktor: Prof. Dr. med. M.J. Müller)
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**Zentrale Körperfettverteilung mittels Magnetresonanztomographie –
Beziehung zum Taillenumfang und Bedeutung für das
kardiometabolische Risiko**



Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von
CHRISTIANE ALENA BOOKE
aus Bielefeld

Kiel 2010

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Thomas Valerius

2. Berichterstatter: PD Dr. med. Andreas Humpe

Tag der mündlichen Prüfung: 24. Januar 2011

Zum Druck genehmigt, Kiel, 24. Januar 2011

Gez.

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnisse

- I Abkürzungen
- II Tabellen
- III Abbildungen

1 Einleitung und Fragestellungen.....	1
2 Methoden.....	6
2.1 Studienpopulation.....	6
2.2 Ethikkommission.....	7
2.3 Laboruntersuchungen (Erfassung kardiometabolischer Risikofaktoren).....	7
2.4 Erfassung der Körperzusammensetzung.....	8
2.4.1 Anthropometrie.....	8
2.4.2 <i>Air-Displacement Plethysmographie</i>	11
2.4.3 Magnetresonanztomographie.....	11
2.5 Statistik.....	15
3 Ergebnisse.....	16
3.1 Volumina von viszeralem und abdominal subkutanem Fettgewebe.....	16
3.1.1 Beziehungen zu Alter und Körperfettmasse.....	20
3.1.2 Beziehungen zu transversalen Einzelschichten.....	25
3.1.3 Beziehungen zum kardiometabolischen Risiko.....	26
3.2 Taillenumfänge an drei Referenzpunkten.....	30
3.2.1 Beziehungen zu den Volumina von viszeralem und abdominal subkutanem Fettgewebe.....	30
3.2.2 Beziehungen zum kardiometabolischen Risiko.....	32
4 Diskussion.....	36

4.1 Beziehungen des viszeralen und abdominal subkutanen Fettgewebes zu Alter, Geschlecht und Körperfettmasse.....	36
4.2 Beziehungen des viszeralen und abdominal subkutanen Fettgewebes zu transversalen Einzelschichten.....	38
4.3 Beziehungen des viszeralen und abdominal subkutanen Fettgewebes zum kardiometabolischen Risiko.....	40
4.4 Vergleich dreier Referenzpunkte zur Messung des Taillenumfangs.....	44
5 Zusammenfassung.....	49
6 Literaturverzeichnis.....	50
7 Anhang.....	54
7.1 Algorithmus zur Vereinheitlichung unterschiedlicher Rumpflängen (Tab.2).....	54
7.2 Ethikkommission.....	55
7.3 Aushang zur Probandenrekrutierung.....	57
7.4 Einwilligungserklärung der Probanden.....	58
7.5 Einwilligungserklärung zur MRT-Untersuchung.....	59
7.6 Danksagung.....	61
7.7 Lebenslauf.....	62
7.8 Eigene Publikationen.....	63

I Abkürzungsverzeichnis

ADP	<i>Air-Displacement Plethysmographie</i>
BMI	<i>Body Mass Index</i>
CT	Computertomographie
FFM	fettfreie Masse
FM	Fettmasse
HDL	<i>high density lipoproteins</i>
HOMA	<i>homeostasis model assessment</i>
IDF	<i>International Diabetes Federation</i>
KHK	Koronare Herzkrankheit
L	Lendenwirbelkörper
LDL	<i>low-density-lipoproteins</i>
LPL	Lipoproteinlipase
m	männlich
MAP	mittlerer arterieller Blutdruck (<i>middle arterial pressure</i>)
MRT	Magnetresonanztomographie
MSX	Metabolisches Syndrom
MW	Mittelwert
NCEP	<i>National Cholesterol Education Program</i>
RR	Blutdruck nach Riva-Rocci
RR _{dias}	diastolischer Blutdruck
RR _{sys}	systolischer Blutdruck
SAT	subkutane Fettmasse (<i>subcutaneous adipose tissue</i>)
SD	Standardabweichung
TE	<i>time to echo</i>
TR	<i>time to repeat</i>
VAT	viszerale Fettmasse (<i>visceral adipose tissue</i>)
VLDL	<i>very-low-density-lipoproteins</i>
w	weiblich
WC	Taillenumfang (<i>waist circumference</i>)
WHO	Welt-Gesundheits-Organisation (<i>World-Health-Organization</i>)

II Tabellenverzeichnis

Tab.1 Anthropometrische Parameter und Ernährungszustand der untersuchten Studienpopulation.....	10
Tab.2 Algorithmus zur Vereinheitlichung unterschiedlicher Rumpflängen.....	14
Tab.3 VAT- und abdominal SAT-Volumina, Fettmasse, fettfreie Masse, VAT- und abdominal SAT-Flächen der 14 untersuchten MRT-Einzelschichten und der Schicht L4-L5.....	17
Tab.4 Korrelationen zwischen VAT- bzw. abdominal SAT-Volumen zum Alter und zur prozentualen Fettmasse.....	20
Tab.5 Partialkorrelationen zwischen VAT- bzw. abdominal SAT-Volumen und den VAT- bzw. abdominal SAT-Einzelschichten sowie der Schicht L4-L5	25
Tab.6 Altersadjustierte Partialkorrelationen zwischen VAT- und abdominal SAT-Gesamtvolumen bzw. drei ausgewählten Einzelschichten zu kardiometabolischen Risikoparametern bei den Frauen.....	28
Tab.7 Altersadjustierte Partialkorrelationen zwischen VAT- und abdominal SAT-Gesamtvolumen bzw. drei ausgewählten Einzelschichten zu kardiometabolischen Risikoparametern bei den Männern.....	29
Tab.8 Taillenumfänge an drei Referenzpunkten bei Frauen und bei Männern.....	30
Tab.9 Korrelationen zwischen VAT- bzw. abdominal SAT-Gesamtvolumen und Taillenumfängen an drei Referenzpunkten.....	31
Tab.10 Altersadjustierte Partialkorrelationen zwischen Taillenumfängen an drei Referenzpunkten und den kardiometabolischen Risikofaktoren, dem Cholesterin- und Insulinspiegel, den Low-Density-Lipoproteinen und dem HOMA-Index.....	33
Tab.11 Prävalenzen erhöhter Taillenumfänge bei Anwendung definierter <i>Cutoffs</i> der IDF und der WHO.....	34

III Abbildungsverzeichnis

Abb.1 Volumen des viszeralen Fettgewebes in Abhängigkeit vom Referenzpunkt.....	4
Abb.2 Darstellung des viszeralen (gelb) und subkutanen Fettgewebes (grün) einer Magnetresonanztomographie (MRT) - Einzelschicht (ohne (oben) und mit manueller Segmentierung (unten)).....	13
Abb.3a+b: VAT- bzw. abdominal SAT-Anteil der 14 MRT-Einzelschichten getrennt nach Geschlechtern.....	18
Abb.4 Korrelationen der viszeralen Fettgewebsvolumina zur prozentualen Fettmasse bei den Frauen.....	21
Abb.5 Korrelationen der viszeralen Fettgewebsvolumina zur prozentualen Fettmasse bei den Männern.....	21
Abb.6 Korrelationen der viszeralen Fettgewebsvolumina zum Alter bei den Frauen.....	22
Abb.7 Korrelationen der viszeralen Fettgewebsvolumina zum Alter bei den Männern.....	22
Abb.8 Korrelationen der abdominal subkutanen Fettgewebsvolumina zur prozentualen Fettmasse bei den Frauen.....	23
Abb.9 Korrelationen der abdominal subkutanen Fettgewebsvolumina zur prozentualen Fettmasse bei den Männern.....	23
Abb.10 Korrelationen der abdominal subkutanen Fettgewebsvolumina zum Alter bei den Frauen.....	24
Abb.11 Korrelationen der abdominal subkutanen Fettgewebsvolumina zum Alter bei den Männern.....	24

1 Einleitung und Fragestellungen

Übergewicht ist ein wichtiger Risikofaktor für kardiometabolische Krankheiten wie Arteriosklerose, Herzinfarkt, Schlaganfall und Typ 2 Diabetes mellitus. Die Fettgewebsverteilung hat einen entscheidenden Einfluss auf das gesundheitliche Risiko (Klein et al. 2007). Ein hoher Anteil an viszeraler Fettmasse (*visceral adipose tissue*, VAT) ist mit einem erhöhten Risiko der Entstehung kardiovaskulärer Erkrankungen, dem metabolischen Syndrom (MSX) und Typ 2 Diabetes mellitus assoziiert (International Diabetes Federation (IDF) 2006). Der Taillenumfang (*waist circumference*, WC) ist ein einfacher anthropometrischer Index der abdominalen Fettmasse, der mit dem VAT eng korreliert (Paré et al. 2001). Vor diesem Hintergrund wurde in der klinischen Praxis die Bestimmung des *Body Mass Index* (BMI) durch die Messung des Taillenumfangs ergänzt.

Biochemische Ursachen für die Bedeutung des VAT sind dessen hohe Lipolyse- und endokrine Funktion. Aus dem subkutanen Fettgewebe (*subcutaneous adipose tissue*, SAT) werden ebenfalls freie Fettsäuren freigesetzt, allerdings bleibt dieser Anteil auch bei Gewichtszunahme relativ konstant. Der Anteil freier Fettsäuren, die aus dem VAT freigesetzt werden, variiert in Abhängigkeit vom Körpergewicht um bis zu 20% (Nielsen et al. 2004). Fallen mehr freie Fettsäuren an, reagiert die Leber darauf mit einer erhöhten Produktion von Very-Low-Density-Lipoproteinen (VLDL) (Després JP & Lemieux I 2006). Diese triglyceridreichen Lipoproteine werden durch die enzymatische Aktivität der im Blut vorhandenen Lipoproteinlipasen (LPL) in cholesterinreiche Low-Density-Lipoproteine (LDL) umgewandelt. Die kleinen dichten atherogenen LDL-Partikel werden in Leber- und extrahepatischen Zellen eingelagert und führen in diesen Organen zu einem erhöhten Cholesteringehalt. High-Density-Lipoproteine (HDL), welche überflüssiges Cholesterin von extrahepatischen Geweben und Arterienwänden aufnehmen und zum Abbau zur Leber bringen, sind bei einem hohen Anteil an viszeraler Fettmasse erniedrigt (Carr et al. 2004).

Darüber hinaus wird bei viszeraler Adipositas das protektiv wirkende Adiponectin vermindert ausgeschüttet. Stattdessen findet eine vermehrte Sekretion schädigender pro-inflammatorischer Zytokine wie Interleukin-6 und Tumor-Nekrose-Faktor- α statt (Carr et al. 2004). Mit steigendem VAT-Anteil kommt es auch zu einer vermehrten

Ausschüttung von Apolipoprotein B, welches die Cholesterinabgabe an das Gewebe erleichtert und zusätzlich die Cholesterinakkumulation in den Arterien durch Bindung an Proteoglykane der extrazellulären Matrix fördert (Carr et al. 2004).

Auf diesem Wege begünstigt das VAT die Entwicklung des Typ 2 Diabetes mellitus bzw. eines MSX sowie artherosklerotisch bedingte Gefäßveränderungen, die mit den Parametern HDL-Cholesterinspiegel, Triglyceridspiegel, systolischer und diastolischer Blutdruck in engem Zusammenhang stehen (Kuk et al. 2006).

Beziehung des Taillenumfangs zum kardiometabolischen Risiko

Ein MSX liegt nach dem National Cholesterol Education Program (NCEP) vor, wenn drei oder mehr der folgenden fünf Kriterien erfüllt sind:

- Arterielle Hypertonie $\geq 130/85$ mmHg bzw. antihypertensive Medikation
- Abdominale Adipositas mit einem WC > 102 cm bei Männern und > 88 cm bei Frauen
- Erhöhung der Triglyceride ≥ 150 mg/dl ($\geq 1,695$ mmol/l)
- Verminderung des HDL-Cholesterins < 40 mg/dl ($< 1,036$ mmol/l) bei Männern und < 50 mg/dl ($< 1,295$ mmol/l) bei Frauen
- Erhöhung des Nüchternblutglukosewertes ≥ 110 mg/dl ($\geq 6,1$ mmol/l).

(National Cholesterol Education Program (NCEP) 2001)

Auch die World-Health-Organization (WHO) bewertet einen WC >102 cm bei Männern und einen WC >88 cm bei Frauen als erhöht. Die IDF stellt darüber hinaus in ihrer MSX-Definition eine abdominale Fettverteilung ins Zentrum, indem sie einen erhöhten WC als Kriterium für die MSX-Diagnose voraussetzt. Nach der IDF liegt bei europäischen Männern ein erhöhter WC bereits bei ≥ 94 cm, bei Frauen ab ≥ 80 cm vor.

Bei Anwendung verschiedener Referenzpunkte und Grenzwerte für den WC im Rahmen der MSX-Definitionen verschiedener Fachgesellschaften (NCEP, IDF, WHO) kommt es jedoch zu einer unterschiedlichen Einschätzung des gesundheitlichen Risikos (Wang et al. 2003). Wang et al. 2003 fanden heraus, dass sich die an unterschiedlichen Referenzpunkten gemessenen Taillenumfänge bei

Männern um ca. 1cm voneinander unterscheiden. Bei Frauen beträgt der Unterschied zwischen schmalstem Taillenumfang und Beckenkamm ca. 5cm. Die Referenzpunkte, an denen der WC in verschiedenen Studien am häufigsten bestimmt wird, sind folgende:

- direkt unterhalb des Rippenbogens,
- mittig zwischen dem Unterrand der kaudalsten Rippe und dem obersten Rand des Beckenkamms, *Crista iliaca*, (WHO, IDF),
- direkt über dem Beckenkamm (*National Institute of Health (NIH), Third National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES III)*).

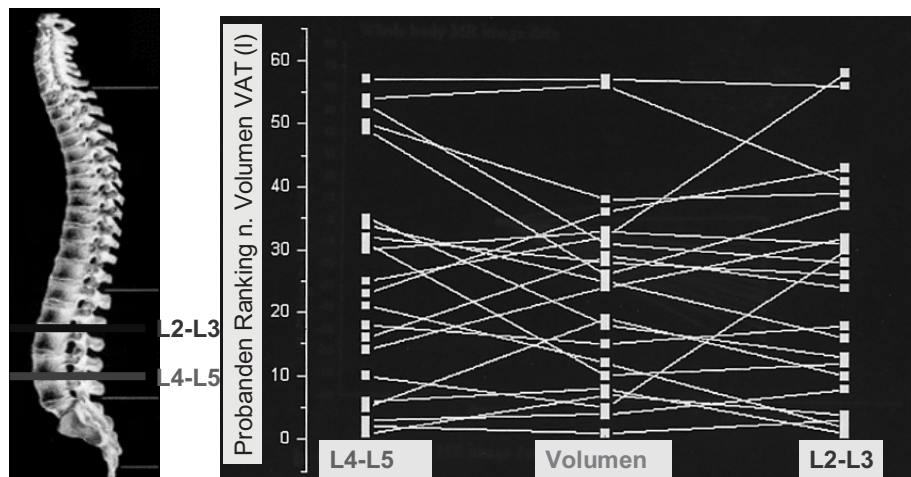
(Alberti et al. 2005, Bethesda 2000, WHO 1995, IDF 2006, NIH 2009)

Es gibt bislang in der wissenschaftlichen Literatur keinen Konsens darüber, an welchem Referenzpunkt der WC gemessen werden sollte, um das Volumen an VAT am besten zu erfassen. Es ist auch unklar, in welcher Beziehung die verschiedenen Taillenumfänge zum kardiometabolischen Risiko stehen (Klein et al. 2007).

Bestimmung des viszeralen Fettgewebes mittels MRT

Um das Volumen an VAT genauer zu bestimmen und damit das gesundheitliche Risiko abzuschätzen, werden in wissenschaftlichen Studien die bildgebenden Verfahren Magnetresonanztomographie (MRT) und Computertomographie (CT) eingesetzt (EL Thomas & JD Bell 2003). Beide Verfahren ermöglichen zweidimensionale Einzelschichtaufnahmen des menschlichen Körpers. Zur Bestimmung des VAT-Volumens werden die durch MRT und CT generierten transversalen Einzelschichtaufnahmen mithilfe entsprechender Software gemäß ihrer Grauabstufungen segmentiert und dadurch die einzelnen Gewebeflächen und Organe voneinander getrennt. Anschließend wird die Fläche an VAT mit der entsprechenden Schichtdicke der Aufnahme zu einem Volumen multipliziert. Die Erstellung, manuelle Bearbeitung und Auswertung dieser Schichtbildaufnahmen erfordert allerdings sehr viel Zeit und ist damit aufwändig und kostenintensiv. Im Falle der CT geht die Erstellung von Einzelschichtaufnahmen darüber hinaus mit einer hohen Strahlenbelastung einher (Paré et al. 2001).

MRT und CT sind aufgrund ihrer Messgenauigkeit und Aussagekraft der wissenschaftliche Goldstandard für die Bestimmung von VAT (EL Thomas & JD Bell 2003). Um die Strahlenbelastung der CT, die Zeit und vor allem die Kosten der Schnittbilderzeugung und -bearbeitung zu minimieren, ohne dabei auf eine hohe Ergebnisqualität verzichten zu müssen, wurde in vielen der bisher durchgeführten Studien nur eine einzelne transversale Schicht zur Messung des VAT bestimmt. Als Referenzpunkt für die Lokalisation dieser Schicht diente meist die Bandscheibe zwischen dem 2. und 3. bzw. zwischen dem 4. und 5. Lendenwirbelkörper (L2-L3 bzw. L4-L5). Je nach Wahl des Messpunktes ergeben sich jedoch unterschiedliche Korrelationen einer transversalen Einzelschicht zum Gesamtvolumen an VAT. **Abb.1** (EL Thomas & JD Bell 2003) soll dies veranschaulichen.



EL Thomas & JD Bell, IJO 27:211-218, 2003

Abb.1: Volumen des viszeralen Fettgewebes in Abhängigkeit vom Referenzpunkt (EL Thomas & JD Bell 2003).

Aus **Abb.1** (EL Thomas & JD Bell 2003) geht hervor, dass die Wahl des Referenzpunktes zur Erstellung eines transversalen Schnittbildes einen entscheidenden Einfluss auf die Beurteilung des VAT und somit auch auf die Beurteilung des gesundheitlichen Risikos hat. Abate et al. 1997 fanden heraus, dass die Aufnahme auf Höhe L2-L3 bei schlanken Personen die beste Korrelation zum VAT aufweist, wohingegen Ross et al. 1992 und Kvist et al. 1988 die Aufnahme auf Höhe L4-L5 am aussagekräftigsten erachten, um auf das Gesamtvolumen an VAT zu

schließen. Da das VAT in engem Zusammenhang mit dem gesundheitlichen Risiko der Entwicklung eines MSX steht, ist es jedoch sehr wichtig, genau zu wissen, welche transversale Einzelschicht des MRT oder CT das VAT-Volumen am besten widerspiegelt. Nur so kann Konsens darüber geschaffen werden, auf welcher Höhe des Abdomens eine einzelne Bildgebung vorgenommen werden soll.

In der vorliegenden Arbeit werden durch Bearbeitung und Auswertung transversaler abdominaler MRT-Bilder bei 100 gesunden erwachsenen Frauen und Männern unter Berücksichtigung unterschiedlicher Referenzpunkte zur Taillenumfangmessung folgende Fragestellungen untersucht:

Volumina von viszeralem und abdominal subkutanem Fettgewebe

- 1.) In welcher Beziehung stehen die Volumina von VAT und abdominal SAT zu Alter und Körperfettmasse?
- 2.) Welche transversale MRT-Einzelschichtaufnahme korreliert am engsten mit dem gesamten Volumen an VAT bzw. abdominal SAT?
- 3.) Zeigt diese transversale Einzelschicht eine gegenüber dem Gesamtvolumen an VAT bzw. abdominal SAT vergleichbare Beziehung zum kardiometabolischen Risiko?

Vergleich dreier Referenzpunkte zur Messung des Taillenumfangs: Unterer Rippenbogen, über dem Beckenkamm und in der Mitte beider anatomischer Kennpunkte

- 4.) Wie unterscheiden sich die Taillenumfänge an verschiedenen Referenzpunkten?
- 5.) Welcher Referenzpunkt zur Messung des Taillenumfangs ist am besten geeignet, um das Volumen an VAT bzw. abdominal SAT zu bestimmen?
- 6.) Welcher Taillenumfang zeigt die engste Beziehung zum kardiometabolischen Risiko?

2 Methoden

Die vorliegende Studie wurde als Querschnittsstudie durchgeführt. Sie umfasste insgesamt 100 gesunde erwachsene Probanden (50 Frauen und 50 Männer), die mithilfe von Aushängen in Arztpraxen, Kliniken und Supermärkten rekrutiert wurden. Am Untersuchungstag kamen die Probanden morgens nüchtern (>10 Stunden nach der letzten Mahlzeit) und ohne, dass eine größere körperliche Belastung vorausging, in das Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Dort erfolgte zunächst eine venöse Blutentnahme, bei der EDTA-Plasma und Serum gewonnen wurden. Das Blut diente der Erstellung eines Lipidprofils und der Ermittlung von Glukose- und Insulinspiegeln. Daraufhin fand in einem klimatisierten Stoffwechselraum (22°C) eine Messung des Ruheenergieverbrauchs mittels indirekter Kalorimetrie statt. Diese Untersuchung ist nicht Teil dieser Arbeit. Puls und Blutdruck, welcher mit einem Sphygmomanometer und einem Stethoskop am rechten Oberarm des sitzenden Probanden gemessen wurde, sind ebenfalls erfasst worden. Der mittlere arterielle Druck (MAP) wurde nach folgender Formel berechnet: $MAP = RR_{dias} + (RR_{sys} - RR_{dias}/3)$, wobei RR_{dias} = diastolischer Blutdruck und RR_{sys} = systolischer Blutdruck. Die Messung der Körperzusammensetzung erfolgte anschließend mittels *Air-Displacement Plethysmographie* (ADP). Weiterhin wurden bei jedem Probanden an drei Referenzpunkten Taillenumfänge gemessen.

Zuletzt wurde noch am gleichen Nachmittag eine MRT-Untersuchung durchgeführt, nach deren Abschluss jeder Proband eine Aufwandsentschädigung von 50 Euro erhielt. Außerdem bekamen alle Teilnehmer nach der Auswertung ihrer Messdaten ein Schreiben mit den wichtigsten Ergebnissen zu Blutwerten und Ernährungszustand zugesandt.

2.1 Studienpopulation

Die Studienpopulation bestand aus 50 Frauen und 50 Männern im Alter von 22-78 Jahren. Als Ausschlusskriterien für die Studienteilnahme wurden außer der Altersbegrenzung (18 - 80 Jahre), eine Schwangerschaft, Stillzeit und, aufgrund der räumlichen Enge des MRT-Gerätes, ein Körpergewicht von >120kg und eine

Körpergröße von >1,80m festgelegt. Alle in diese Studie eingeschlossenen Probanden wogen <120kg. 16 Probanden waren größer als 1,80m. Da von diesen Probanden dennoch transversale Schichtaufnahmen von den Hand- bis zu den Fußgelenken angefertigt werden konnten, wurden sie in die Studie einbezogen. Des Weiteren diente die regelmäßige Einnahme von Medikamenten mit Einfluss auf die Varianz des Energieverbrauchs oder die Körperzusammensetzung als Ausschlusskriterium. Hierzu zählten vorrangig Medikamente wie Betablocker, Cortison oder Schilddrüsenhormone. Schilddrüsenerkrankungen, Diabetes mellitus Typ 1 und Typ 2 stellten ebenfalls Ausschlusskriterien dar. Zudem waren Probanden mit Bluthochdruck oder floriden Erkältungen von der Teilnahme an dieser Studie ausgeschlossen. Aufgrund der Verwendung eines MRT waren ein Herzschrittmacher oder andere metallhaltige Implantate sowie Klaustrophobie Ausschlusskriterien für die Rekrutierung der Probanden.

2.2 Ethikkommission

Von der zuständigen Ethikkommission der Christian-Albrechts-Universität (CAU) zu Kiel wurden die Untersuchungen dieser Studie bewilligt (Kopie des Schreibens im Anhang). Sowohl die Erfassung als auch die Auswertung der Studiendaten fand gemäß den Vorschriften des Datenschutzgesetzes statt. Alle Teilnehmer wurden vor Beginn der Untersuchungen über den Inhalt und den Ablauf der Studie informiert und gaben ihre schriftliche Einwilligung.

2.3 Laboruntersuchungen (Erfassung kardiometabolischer Risikofaktoren)

Zur Bestimmung des Plasma-Glukosespiegels wurde eine enzymatische Methode mittels Hexokinase herangezogen. Cholesterin- und Triglyceridkonzentrationen wurden gleichermaßen enzymatisch bestimmt, indem Cholesterinester und Triacylglyceride zu Cholesterin und Glycerol hydrolysiert wurden. HDL-Cholesterin wurde nach Ausfällung der Lipoproteine aus dem Überstand analysiert. Zur Messung des Plasma-Insulins wurde die Radioimmunoassay-Methode verwendet (sämtliche Geräte von der Konelab-Kooperation, Espoo, Finnland). Der HOMA-Index

(*homeostasis model assessment*) wurde zur Erfassung der Insulinresistenz (IR) herangezogen. Er ist ein Modell zur Berechnung der Insulinresistenz aus Nüchterninsulin- und Glukosewerten und wird wie folgt festgelegt: $\text{HOMA-IR} = \text{Nüchterninsulin } (\mu\text{U/ml}) \times \text{Nüchternglukose } (\text{mmol/l}) / 22,5$ (Matthews et al. 1985). In dieser Studiengruppe wurden die *Cutoffs* für den HOMA-Index bei einem Wert $>2,61$ gewählt. Alle Werte darüber wurden als erhöht bewertet (Matthews et al. 1985). HOMA-IR wurde bei Probanden mit einem Nüchternglukosespiegel von $>7,0$ mmol/l nicht berechnet. Bei zwei Männern dieser Studie war der Nüchternglukosespiegel $>7,0$ mmol/l.

Folgende Referenzwerte wurden im Rahmen der Laboruntersuchungen zugrunde gelegt: Triglyceride <150 mg/dl, Gesamt-Cholesterin <250 mg/dl, HDL-Cholesterin $>40/50$ mg/dl (m/w), Glukose $<6,1$ mmol/l (<109 mg/dl).

C-reaktives Protein (CRP) wurde mit Hilfe des Latex-Agglutinationstests mit einer Sensitivität von $0,1$ mg/l bestimmt (CRP-Dynamik/ -Hit917, BIOMED Labordiagnostik GmbH, Oberschleißheim, Germany). Erhöhte CRP-Werte wurden bei Werten $>2,11$ mg/l festgelegt (Ridker et al. 1997).

Tabellarische Abweichungen in der Gesamtzahl (n) der Probanden kommen dadurch zustande, dass bei wenigen Teilnehmern die Laborparameter nicht vollständig erhoben werden konnten.

2.4 Erfassung der Körperzusammensetzung

2.4.1 Anthropometrie

Die Körpergröße jedes Probanden wurde bis auf 5 mm genau mit einer Messlatte (SECA, Modell 709, Vogel & Halke, Hamburg) erfasst. Hierzu standen die Probanden aufrecht, ohne Schuhe und hielten Kopf und Rücken gerade. In der gleichen Position wurden bei jedem Probanden in mittlerer Atemlage Taillenumfänge gemessen. Die erste Messung wurde direkt unterhalb des Rippenbogens durchgeführt, eine weitere unmittelbar über dem Beckenkamm (NIH, NHANES III) und die dritte Messung in der Mitte dieser beiden Punkte (WHO, IDF). Insgesamt wurde jede Messung dreimal wiederholt, aus den erhaltenen Werten der Mittelwert gebildet und dieser bis auf 0,1 cm genau angegeben. Bei der Messung der Taillenumfänge war der Proband bis auf

die Unterwäsche entkleidet. Das Maßband bestand aus einem nicht-dehnbaren Material. Es wurde senkrecht zur körperlichen Längsachse und horizontal zum Boden mit ausreichender Spannung aufgesetzt und in Höhe der mittleren Axillarlinie abgelesen. Zur Bestimmung des Körpergewichts wurde eine elektronische Waage verwendet, die an das Bod Pod ® Body Composition System (life measurement, Inc, Concord, CA) gekoppelt war. Die Wägung erfolgte in Unterwäsche. Aus Körpergewicht und Körpergröße wurde der BMI berechnet (kg/m^2).

Die wichtigsten anthropometrischen Charakteristika der Studiengruppe sind nachstehend in **Tab.1** für Frauen und Männer getrennt dargestellt. Der Ernährungszustand der Probanden wurde in **Tab.1** gleichfalls dargestellt und anhand des BMI substratifiziert. Mit einem BMI $< 25 \text{ kg}/\text{m}^2$ sind die Probanden normalgewichtig (48%), mit einem BMI von $25\text{-}29 \text{ kg}/\text{m}^2$ übergewichtig (35%) und mit einem BMI $\geq 30 \text{ kg}/\text{m}^2$ adipös (17%) (**Tab.1**). Zwei Frauen und ein Mann waren mit einem BMI $\leq 18,5 \text{ kg}/\text{m}^2$ untergewichtig. Sie wurden in **Tab.1** den normalgewichtigen Probanden zugezählt.

Tab.1 Anthropometrische Parameter und Ernährungszustand der untersuchten Studienpopulation

Probanden	gesamt		BMI < 25 kg/m ²		BMI 25-29 kg/m ²		BMI ≥ 30 kg/m ²	
	w	m	w	m	w	m	w	m
n	50	50	27	21	17	18	6	11
Alter (22 - 78 Jahre)	39,8 ± 16,0	45,6 ± 15,9	34,6 ± 13,6	41,8 ± 16,0	48,2 ± 17,1	47,4 ± 16,3	39,5 ± 15,4	49,7 ± 14,8
Größe (148 – 194 cm)	166,1 ± 0,1	178,0 ± 0,1	167,1 ± 0,1	177,5 ± 0,1	166,0 ± 0,1	179,2 ± 0,1	162,3 ± 0,0	176,9 ± 0,1
Gewicht (44,7 – 114,5 kg)	68,5 ± 11,3	82,3 ± 13,2	61,7 ± 6,6	71,2 ± 5,2	71,7 ± 5,7	84,4 ± 8,5	90,3 ± 8,2	100,0 ± 8,1
BMI (16,8 – 37,7 kg/m ²)	24,9 ± 4,3	26,0 ± 3,9	22,1 ± 2,1	22,6 ± 1,4	26,0 ± 1,3	26,3 ± 1,6	34,3 ± 2,2	32,0 ± 1,8

BMI, Body Mass Index; n, Probandenzahl; w = weiblich; m = männlich

2.4.2 Air-Displacement Plethysmographie

Die Air-Displacement Plethysmography (ADP) dient der Bestimmung der Körperfettmasse durch die Berechnung der Körperdichte aus Körpermasse und Körpervolumen. Das Messprinzip dieser Methode beruht auf dem Boyle'schen Gesetz. Für die Messungen wurde das Bod Pod ® Body Composition System (life measurement, Inc, Concord, CA) verwendet. Mit Hilfe der zugehörigen Software wurden die Messungen anschließend ausgewertet. Das Gerät wurde vor Beginn der Messung mit einem 50 l Referenzzylinder kalibriert. Das Körpergewicht des Probanden wurde unter Verwendung der an das Gerät angeschlossenen Waage erfasst und im Anschluss das Körpervolumen im Plethysmographen gemessen. Des Weiteren wurde das Lungenvolumen bestimmt. Das gemessene Körpervolumen (V_{braw}) wurde um $0.4 \cdot$ Lungenvolumen (V_{tg}) und die Körperoberfläche (*surface area artefact*, SSA) korrigiert. Die Körperdichte wurde aus dem Körpergewicht (kg) und dem korrigierten Körpervolumen berechnet ($D = \text{KG} / (V_{\text{braw}} + 0,4 \cdot V_{\text{tg}} - \text{SAA})$). In dieser Formel sind D = Körperdichte, V_{tg} = thorakales Gasvolumen (l), V_{braw} = unkorrigiertes Körpervolumen (l) und SAA = *surface area artefact* (modifizierte Hautoberfläche nach DuBois (l) (DuBois und DuBois 1916)). Der SAA berechnet sich wie folgt: $\text{SAA (l)} = k (\text{l/cm}^2) \cdot \text{BSA (cm}^2)$. Hierbei ist k eine Konstante und BSA ist die Körperoberfläche (*body surface area*) nach DuBois. Die Körperfettmasse (FM) wurde aus der Körperdichte mithilfe der Formel von Siri 1961 berechnet: $\text{FM (\%)} = 495 / \text{Körperdichte} - 450$.

2.4.3 Magnetresonanztomographie

Die Magnetresonanztomographie (MRT) ist ein nichtinvasives schichtbildgebendes Verfahren, das eine Beurteilung innerer Organe und Gewebe hinsichtlich ihrer Größe, Form und Struktur ermöglicht. Das Prinzip beruht auf der Verwendung starker statischer Magnetfelder, Gradientenfelder und Hochfrequenzfelder. Dabei macht man sich die magnetischen Eigenschaften, die in den Atomkernen befindlichen Protonen zunutze. So ist eine beliebig orientierte Darstellung von Schnittbildern möglich, ohne den menschlichen Körper ionisierender Strahlung auszusetzen.

In dieser Arbeit wurde ein 1,5 Tesla starkes MRT-Gerät (Magnetom Vision, Siemens Medical Systems, Erlangen, Germany) verwendet. Zur Erstellung T1-gewichteter transversaler Schichtaufnahmen wurde die Spin-Echo-Sequenz mit einer Echozeit (*time to echo*, TE) von 15,0 msec und einer Repetitionszeit (*time to repeat*, TR) von 575,0 msec gewählt. Die Schichtdicke betrug 10 mm. Für Signalerzeugung und -empfang wurden Volumen- und Oberflächenspulen eingesetzt. Die Probanden befanden sich in Rückenlage mit über den Kopf gestreckten Armen. Die angefertigten transversalen Schichtaufnahmen reichten von den Hand- bis zu den Fußgelenken, wobei in der vorliegenden Arbeit nur die Aufnahmen von der Unterseite des Zwerchfells bis zu den apikalen Polen der Femurköpfe untersucht wurden. Diese umfassten das gesamte Volumen des abdominalen Fettgewebes.

Die Probanden wurden aufgefordert ihren Atem während der gesamten Zeit der abdominalen Schichtbilderzeugung anzuhalten. Von jedem Probanden entstanden je nach Körpergröße 14 - 26 abdominale Einzelschichtaufnahmen, die im Anschluss auf einem Personal Computer mithilfe spezieller Software (Slice-O-Matic®, Tomovision 4.3, Montreal, Canada) ausgewertet wurden. Hierzu wurde jedes Bild gemäß seiner Grauabstufungen unter Verwendung der *Morpho*-Option segmentiert. Jedes Segment wurde daraufhin einem bestimmten Gewebe zugeordnet und entsprechend farblich markiert. Schließlich wurde jeder dieser farblich markierten transversalen Einzelschichtaufnahmen das äquivalente native MRT-Bild mittels eines Transparent-Modus überlagert, um gegebenenfalls Korrekturen in der Identifizierung einzelner Gewebeflächen vorzunehmen. Dies geschah manuell mit Hilfe der *Edit*-Option der Software. Die Fläche (cm²) von VAT und SAT wurde automatisch rechnerisch erfasst, indem die Pixel durch die *Surfaces/Volumes*-Option addiert und mit der individuellen Pixeloberfläche multipliziert wurden. Das Gewebevolumen (cm³) wurde durch Multiplikation der jeweiligen Gewebefläche (cm²) mit der Schichtdicke und anschließender Aufaddierung der Schichten berechnet. Das genaue Vorgehen soll anhand von **Abb.2** veranschaulicht werden:

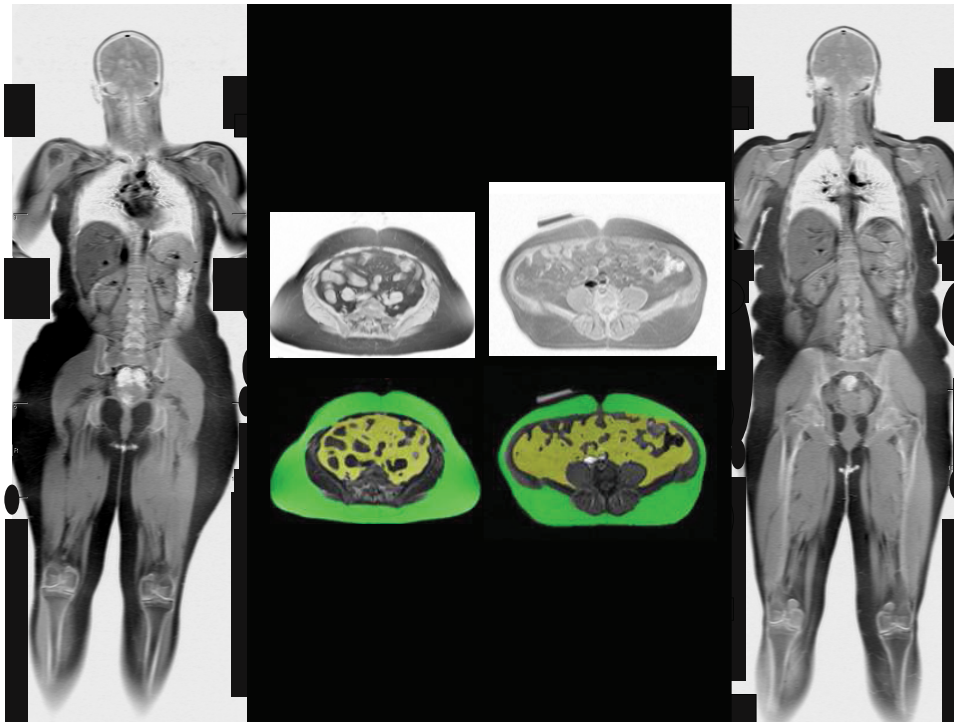


Abb.2 Darstellung des viszeralen (gelb) und subkutanen Fettgewebes (grün) einer Magnetresonanztomographie (MRT) - Einzelschicht (ohne (oben) und mit manueller Segmentierung (unten)). Beachte: Der Anteil und die Verteilung des viszeralen und subkutanen Fettgewebes (hier: auf Höhe des Bauchnabels) divergieren bei beiden Probanden.

Um die unterschiedlichen Rumpflängen der einzelnen Probanden auf eine einheitliche Rumpflänge zu bringen, und damit die Fettverteilung zwischen verschieden großen Individuen vergleichbar zu machen, wurde eine Übersicht darüber erstellt, wie viele abdominale Einzelschichtaufnahmen von jedem einzelnen Probanden ausgewertet wurden. Dabei betrug die Minimumanzahl an transversalen Einzelschichtaufnahmen eines Probanden 14, die maximale Anzahl transversaler Einzelschichtaufnahmen eines Probanden 26. Betrug die Schichtanzahl bei einem Probanden >14 , wurde der Quotient aus der jeweiligen Schichtanzahl und der minimalen Schichtanzahl 14 gebildet. Jedem Probanden wurden in einer Excel-Tabelle die Anzahl und die Fläche jeder seiner Schichten zugeordnet. Mit dem zuvor errechneten Quotienten war es nun möglich, prozentual soviel von dem Wert der viszeralen bzw. abdominal subkutanen Fettmasse der nachfolgenden Einzelschichtaufnahme zu addieren, dass sich für jeden Probanden eine Schichtanzahl von 14 ergab, ohne das Gesamtvolumen von VAT bzw. abdominal SAT zu verändern. Nachstehendes Rechenbeispiel soll diesen Vorgang

veranschaulichen (**Tab.2**). Von Proband 1 wurden insgesamt 17 abdominale MRT-Einzelschichtaufnahmen angefertigt. Da die Minimumanzahl an transversalen Einzelschichtaufnahmen eines Probanden der Studienpopulation 14 betrug, wurde der Quotient aus der Schichtanzahl 17 und der minimalen Schichtanzahl 14 gebildet. Daraus ergab sich ein Quotient von 1,21 (**Tab.2**). Gerechnet wurde in dem abgebildeten Beispiel mit den abdominal SAT-Werten des Probanden. Unter den gemessenen Schichten, nummeriert von 1 bis 17, wurden die Werte der Flächen (cm²) aufgeführt, die bei Proband 1 anhand des entsprechenden MRT-Bildes berechnet wurden (**Tab.2**). In der Berechnung wurden die Werte für das abdominal SAT von den 3 überzähligen Schichten auf die anderen Werte verteilt. Dazu wurden gemäß des errechneten Quotienten 100% des Wertes der 1.Schicht (direkt unterhalb des Zwerchfells) zu 21% des Wertes der 2.Schicht addiert. Zu den verbleibenden 79% des Flächenwertes der 2.Schicht wurden, um auf den für 17 Schichten errechneten Quotienten 1,21 zu kommen, 42% des Flächenwertes der 3.Schicht addiert usw. sodass der individuelle Flächenwert (hier 1775,89 cm²) von den ursprünglich 17 Einzelschichten auf 14 Einzelschichten verteilt wurde.

Tab.2 Algorithmus zur Vereinheitlichung unterschiedlicher Rumpflängen (vollständiger Algorithmus siehe Anhang)

Proband 1 (17), 1,21	Schicht 1	Schicht 2	Schicht 3	...	Summe
SAT					
Fläche der Einzelschicht (cm ²)	146,1	166,3	170,9	...	1775,89
reduziert auf 14 Einzelschichten(cm ²)	181,02	203,16	199,42	...	1772,75
Algorithmus	1,0+0,21	0,79+0,42	0,58+0,63	...	

SAT, *subcutaneous adipose tissue*; 1,0 = 100%

Die Schicht auf Höhe L4-L5 wurde unabhängig hiervon anatomisch identifiziert und einzeln ausgewertet.

2.5 Statistik

Die statistische Auswertung der Daten wurde mit Excel 2001 und SPSS 13.0 (SPSS Inc., Chicago, USA) für Windows durchgeführt. Alle untersuchten Parameter wurden als Mittelwert mit Standardabweichung ($MW \pm SD$) dargestellt. Die Normalverteilung der Variablen wurde anhand von Histogrammen überprüft. Bis auf die Variablen Triglyceride, Insulin, systolischer und diastolischer Blutdruck, HOMA-Index und das viszerale Volumen wiesen alle Parameter eine Normalverteilung auf. Einfache Korrelationen und Graphiken konnten in Excel erstellt werden. Für Korrelationsanalysen wurde der Pearson-Korrelationskoeffizient gewählt. Die nicht normalverteilten Parameter Triglyceride, Insulin, systolischer und diastolischer Blutdruck, HOMA-Index und das viszerale Volumen wurden vor der Korrelationsanalyse logarithmiert. Zur Überprüfung, ob zwei bivariate Pearson-Korrelationen signifikant verschieden sind, wurde der Signifikanztest nach Meng verwendet. Bei diesem Test wird berücksichtigt, dass die zu vergleichenden Korrelationen selbst miteinander korreliert sein könnten. Intraindividuelle Vergleiche des Taillenumfangs wurden mithilfe des gepaarten t-Tests für abhängige Stichproben auf Signifikanz geprüft. Unterschiede zwischen den Geschlechtern wurden mit einem t-Test für unabhängige Stichproben getestet. Eine für das Alter adjustierte Partialkorrelation wurde vorgenommen, weil das Alter unabhängig von der Körperfettverteilung einen Einfluss auf das kardiometabolische Risiko hat. Als Signifikanzgrenze wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% zugrunde gelegt. Werte mit $p < 0,05$ wurden mit einem Symbol gekennzeichnet, ein Signifikanzniveau von $< 0,01$ erhielt zwei Symbole und ein Signifikanzniveau von $p < 0,001$ bekam drei Kennzeichnungen in den Tabellen.

3 Ergebnisse

3.1 Volumina von viszeralem und abdominal subkutanem Fettgewebe

In **Tab.3** sind die mittleren VAT- und abdominal SAT-Volumina der insgesamt 100 untersuchten Probanden, die Fettmasse prozentual und die fettfreie Masse in Kilogramm, welche mittels ADP ermittelt wurden, und die Ergebnisse der VAT- und abdominal SAT-Flächen auf Höhe der jeweils zugehörigen transversalen MRT-Einzelschichtaufnahme sowie der Schicht L4-L5 für Frauen und Männer getrennt dargestellt. **Abb.3a** und **Abb.3b** sollen die Ergebnisse der jeweils 14 VAT- und abdominal SAT-Flächen aus **Tab.3** graphisch veranschaulichen. Die Fettverteilung und der Anteil an VAT und abdominal SAT auf Höhe der jeweiligen transversalen Einzelschichtaufnahme sind in **Abb.3a** und **Abb.3b** getrennt nach Geschlechtern dargestellt.

Tab.3 VAT- und abdominal SAT-Volumina, Fettmasse, fettfreie Masse sowie viszerale und abdominal subkutane Fettgewebsflächen der 14 untersuchten MRT-Einzelschichten und der Schicht L4-L5 bei den untersuchten Frauen und Männern (MW±SD)

	<u>Frauen</u> (n=50)	<u>Männer</u> (n=50)	<u>Geschlechts-</u> <u>unterschied</u>
FM_{ADP} (%)	33,5 ± 8,9	22,3 ± 7,3	***
FFM_{ADP} (kg)	45,0 ± 5,5	63,3 ± 7,2	***
VAT_Vol (cm³)	103,7 ± 75,2	208,2 ± 120,6	***
(direkt unter Zwerchfell)			
VAT 1 (cm²)	63,2 ± 56,7	139,0 ± 99,1	***
VAT 2 (cm²)	78,8 ± 61,0	172,2 ± 112,8	***
VAT 3 (cm²)	82,2 ± 60,7	167,6 ± 102,7	***
VAT 4 (cm²)	75,9 ± 57,7	149,8 ± 87,1	***
VAT 5 (cm²)	57,3 ± 59,3	132,2 ± 111,6	***
VAT 6 (cm²)	67,5 ± 59,7	145,0 ± 112,1	***
VAT 7 (cm²)	76,2 ± 59,5	152,1 ± 94,9	***
VAT 8 (cm²)	81,8 ± 71,5	161,3 ± 95,8	***
VAT 9 (cm²)	83,3 ± 71,9	164,9 ± 101,9	***
VAT 10 (cm²)	80,3 ± 60,6	159,8 ± 100,9	***
VAT 11 (cm²)	81,2 ± 57,1	157,3 ± 116,4	***
VAT 12 (cm²)	74,1 ± 59,3	130,4 ± 95,1	**
VAT 13 (cm²)	67,3 ± 47,1	110,2 ± 71,9	**
VAT 14 (cm²)	59,1 ± 41,1	104,9 ± 58,9	***
(Höhe Femurköpfe)			
VAT L4-L5 (cm²)	59,6 ± 44,5	114,5 ± 67,6	***
abd_SAT_Vol (cm³)	390,1 ± 199,6	299,9 ± 156,3	*
(direkt unter Zwerchfell)			
SAT 1 (cm²)	262,4 ± 162,3	192,7 ± 113,6	*
SAT 2 (cm²)	268,8 ± 163,0	197,1 ± 114,1	*
SAT 3 (cm²)	291,5 ± 169,3	219,2 ± 131,6	*
SAT 4 (cm²)	279,8 ± 145,2	213,1 ± 100,7	**
SAT 5 (cm²)	204,4 ± 131,6	171,2 ± 82,8	
SAT 6 (cm²)	210,2 ± 124,1	170,8 ± 94,2	
SAT 7 (cm²)	235,9 ± 135,4	174,0 ± 89,8	**
SAT 8 (cm²)	241,9 ± 142,4	176,2 ± 88,9	**
SAT 9 (cm²)	257,4 ± 151,0	198,8 ± 105,0	*
SAT 10 (cm²)	296,4 ± 172,7	241,8 ± 145,9	
SAT 11 (cm²)	334,6 ± 195,5	260,3 ± 171,1	*
SAT 12 (cm²)	346,7 ± 196,6	245,3 ± 159,5	**
SAT 13 (cm²)	335,4 ± 175,8	211,0 ± 134,9	***
SAT 14 (cm²)	325,5 ± 158,9	204,1 ± 129,1	***
(Höhe Femurköpfe)			
SAT L4-L5 (cm²)	229,6 ± 104,8	192,1 ± 96,1	

FM, Fettmasse; FFM, fettfreie Masse; ADP, *Air-Displacement Plethysmography*; VAT, *visceral adipose tissue*; SAT, *subcutaneous adipose tissue*; abd, abdominal; VAT L4-L5, SAT L4-L5 = anatomisch separat identifizierte transversale Schicht L4-L5; * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001

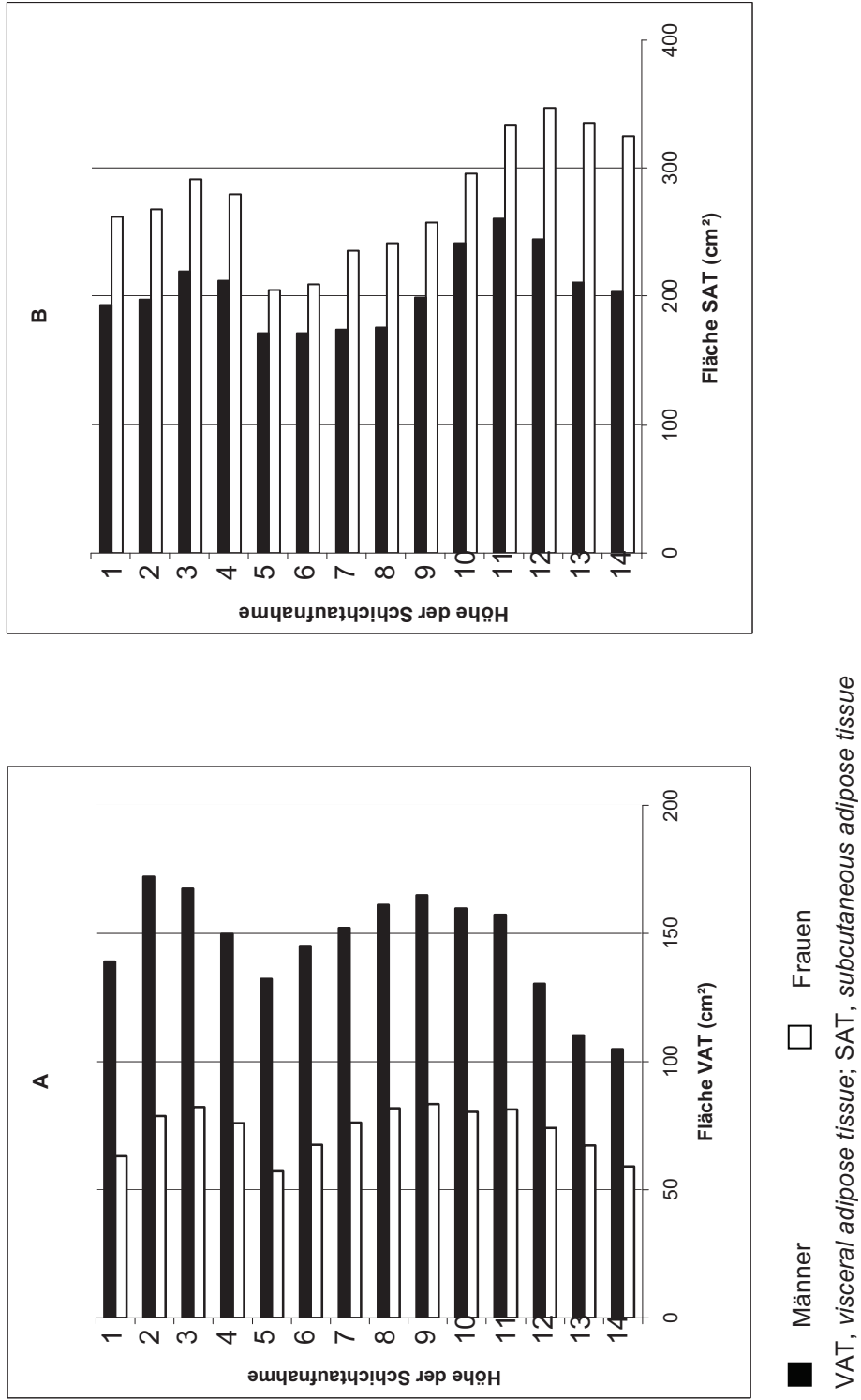


Abb.3a+b: VAT- bzw. abdominal SAT-Anteil der 14 MRT-Einzelschichten getrennt nach Geschlechtern

Die 50 untersuchten Frauen dieser Studie unterscheiden sich mit ihrem mittleren VAT-Volumen hoch signifikant von den 50 untersuchten Männern dieser Studie, deren VAT-Volumen im Mittel doppelt so groß ist (**Tab.3**). Der Unterschied zwischen den mittleren abdominal SAT-Volumina bei den untersuchten Frauen und Männern dieser Studie ist ebenfalls signifikant. Das abdominal SAT-Volumen ist bei den Frauen im Mittel größer als bei den Männern. Hoch signifikant ist auch der Unterschied zwischen den Geschlechtern für die Fettmasse und die fettfreie Masse (**Tab.3**). Der Anteil der Fettmasse am Gesamtkörpergewicht ist bei den Frauen im Mittel höher als bei den Männern. Die untersuchten Männer haben im Mittel eine größere fettfreie Masse als die untersuchten Frauen (**Tab.3**).

Darüber hinaus besteht ein Unterschied zwischen den Geschlechtern in der Verteilung der Fettmasse und im Anteil an VAT und abdominal SAT. **Abb.3a** zeigt, dass die 50 untersuchten Männer dieser Studie auf allen 14 untersuchten Schichten deutlich mehr VAT haben als die Frauen. Bei 12 der insgesamt 14 untersuchten VAT-Schichten ist dieser Unterschied hoch signifikant (**Tab.3**). Während bei den 50 untersuchten Frauen das VAT auf allen 14 Schichten etwa gleich verteilt ist, ist das VAT bei den Männern auf Höhe der Schichten VAT 2, VAT 3 sowie VAT 8-11 besonders ausgeprägt. Sowohl bei den Männern als auch bei den Frauen nimmt das VAT im Becken ab (**Abb.3a**).

Im Vergleich zu den Männern haben Frauen wie in **Abb.3b** gezeigt durchweg einen höheren Anteil an abdominal SAT. Bei 11 der 14 untersuchten SAT-Schichten ist dieser Unterschied signifikant (**Tab.3**). **Abb.3b** zeigt, dass bei beiden Geschlechtern die Verteilung des SAT auf Höhe der transversalen MRT-Schichten 1-4 besonders ausgeprägt ist. Zur Körpermitte hin nimmt bei beiden Geschlechtern das abdominal SAT ab. Auf Höhe SAT 11-13 nimmt das abdominal SAT besonders bei den Frauen zu (**Abb.3b**). Aus **Tab.3** geht hervor, dass die Unterschiede zwischen den Geschlechtern auf Höhe der Schichten SAT 5, SAT 6 und SAT 10 sowie auf Höhe der Schicht SAT L4-L5 nicht signifikant sind.

Im Vergleich zu den untersuchten Frauen ist der VAT-Anteil auf Höhe L4-L5 bei den Männern fast doppelt so hoch. Der Unterschied zwischen den Geschlechtern im VAT-Anteil auf Höhe L4-L5 ist hoch signifikant.

3.1.1 Beziehungen zu Alter und Körperfettmasse

Die Beziehungen der viszeralen und abdominal subkutanen Fettgewebsvolumina zum Alter und zur prozentualen Fettmasse sind in **Tab.4** und in **Abb. 4-11** für Frauen und Männer getrennt dargestellt.

Tab.4 Korrelationen zwischen dem viszeralen bzw. abdominal subkutanen Fettgewebsvolumen zum Alter und zur prozentualen Fettmasse getrennt für Frauen und Männer (n)

	Alter (Jahre)		FM _{ADP} (%)	
	w (n=50)	m (n=50)	w (n=50)	m (n=50)
lg_VAT_Vol (cm ³)	0,49***	0,35*	0,82***	0,72***
abd_SAT_Vol (cm ³)	0,14	0,01	0,77***	0,70***

FM, Fettmasse; ADP, *Air-Displacement Plethysmography*; VAT, *visceral adipose tissue*; SAT, *subcutaneous adipose tissue*; Vol, Volumen; lg, logarithmiert; abd., abdominal; * p<0,05; *** p<0,001; w = weiblich; m = männlich

Aus **Tab.4** geht hervor, dass bei beiden Geschlechtern das VAT-Volumen signifikant zum Alter und zur prozentualen Fettmasse korreliert. **Abb. 4** und **Abb. 5** zeigen die Beziehungen der VAT-Volumina zur prozentualen Fettmasse getrennt für Frauen und Männer. Aus **Abb.4** und **Abb.5** geht hervor, dass mit steigendem Anteil des Fettgewebes an der Gesamtkörpermasse der Anteil an VAT bei beiden Geschlechtern zunimmt. In **Abb. 6** und **Abb. 7** ist die Beziehung des VAT zum Alter getrennt für Frauen und Männer dargestellt. Mit höherem Alter nimmt das VAT bei beiden Geschlechtern zu. Aus **Tab.4** geht hervor, dass das Volumen an abdominal SAT bei beiden Geschlechtern signifikant zur prozentualen Fettmasse, nicht jedoch zum Alter korreliert. **Abb.8** und **Abb.9** zeigen die Beziehung des abdominal subkutanen Fettgewebes zur prozentualen Fettmasse getrennt für Frauen und Männer. Bei beiden Geschlechtern steigt der abdominal SAT-Anteil mit zunehmender Fettmasse. **Abb.10** und **Abb.11** zeigen die Korrelationen des abdominal SAT zum Alter. Aus **Abb.10** und **Abb.11** geht hervor, dass das abdominal SAT weder bei den Frauen noch bei den Männern signifikant zum Alter korreliert.

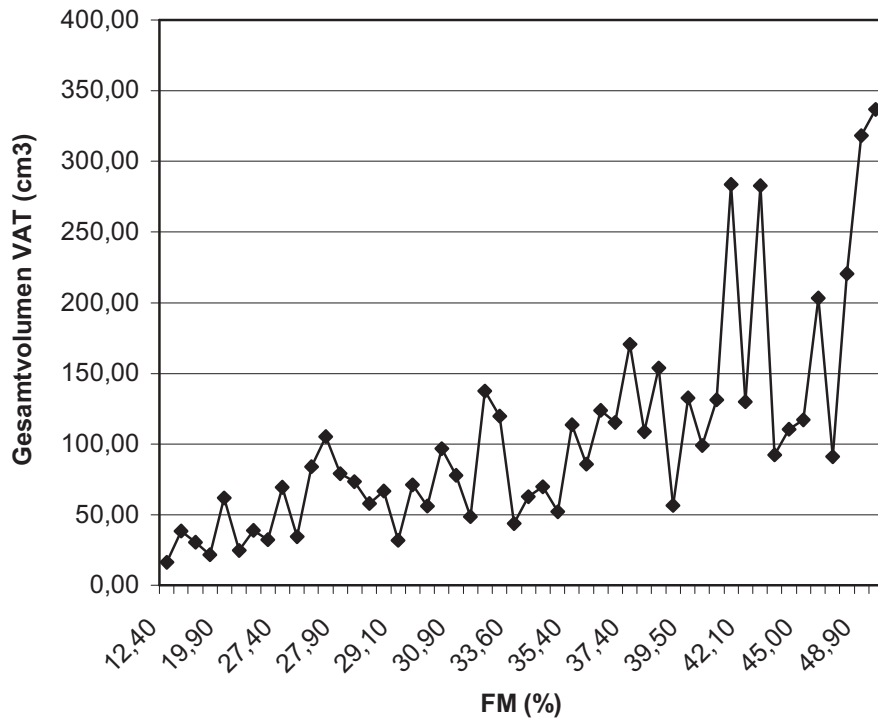


Abb.4 Korrelationen der viszeralen Fettgewebsvolumina zur prozentualen Fettmasse bei den Frauen

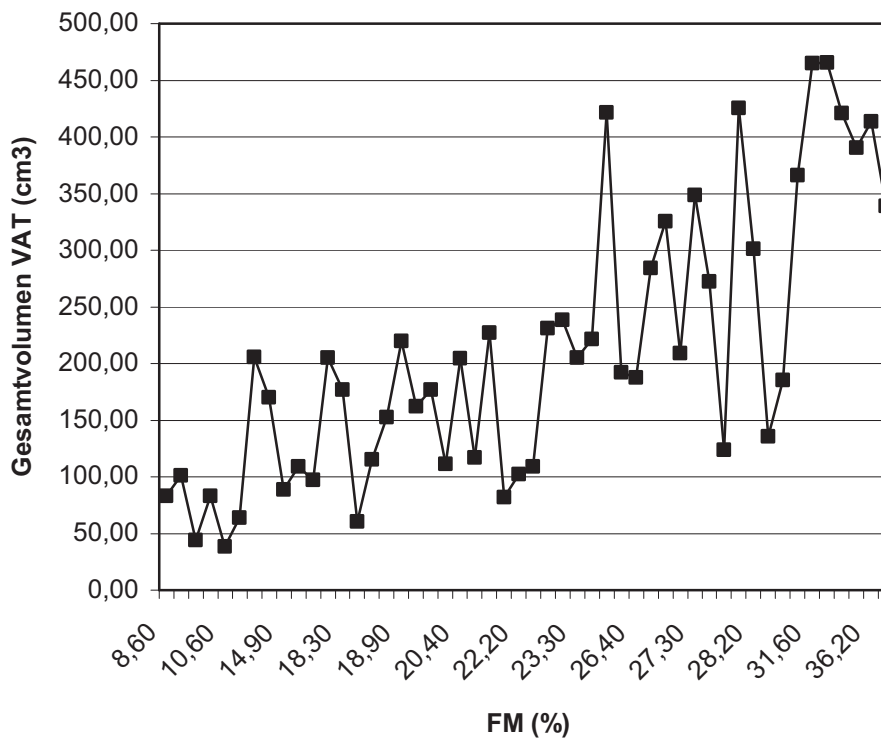


Abb.5 Korrelationen der viszeralen Fettgewebsvolumina zur prozentualen Fettmasse bei den Männern

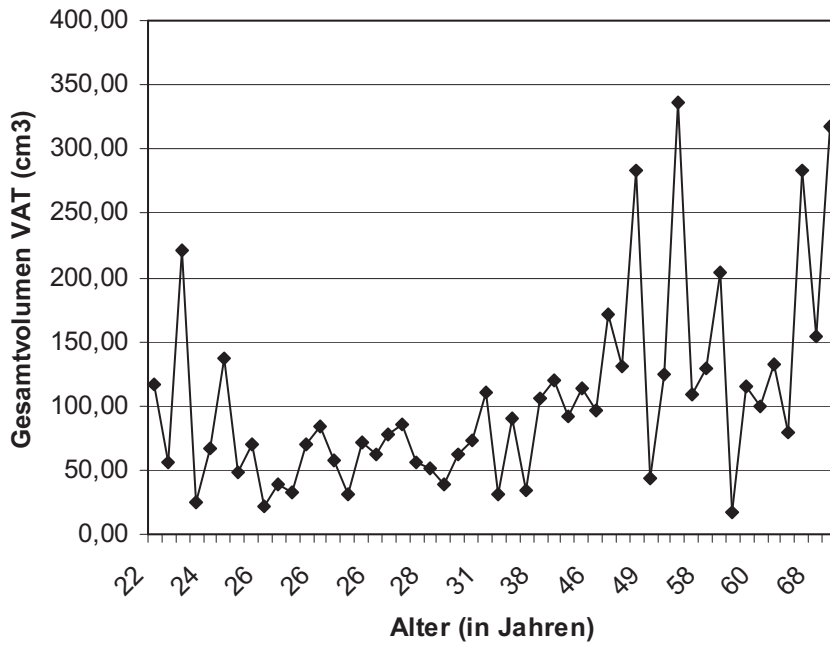


Abb.6 Korrelationen der viszerale Fettgewebsvolumina zum Alter bei den Frauen

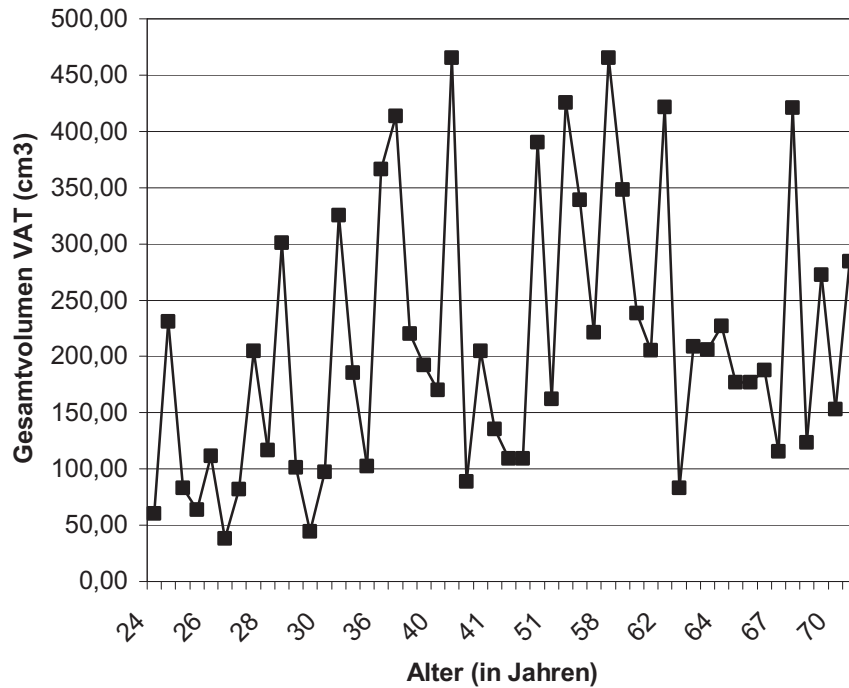


Abb.7 Korrelationen der viszerale Fettgewebsvolumina zum Alter bei den Männern

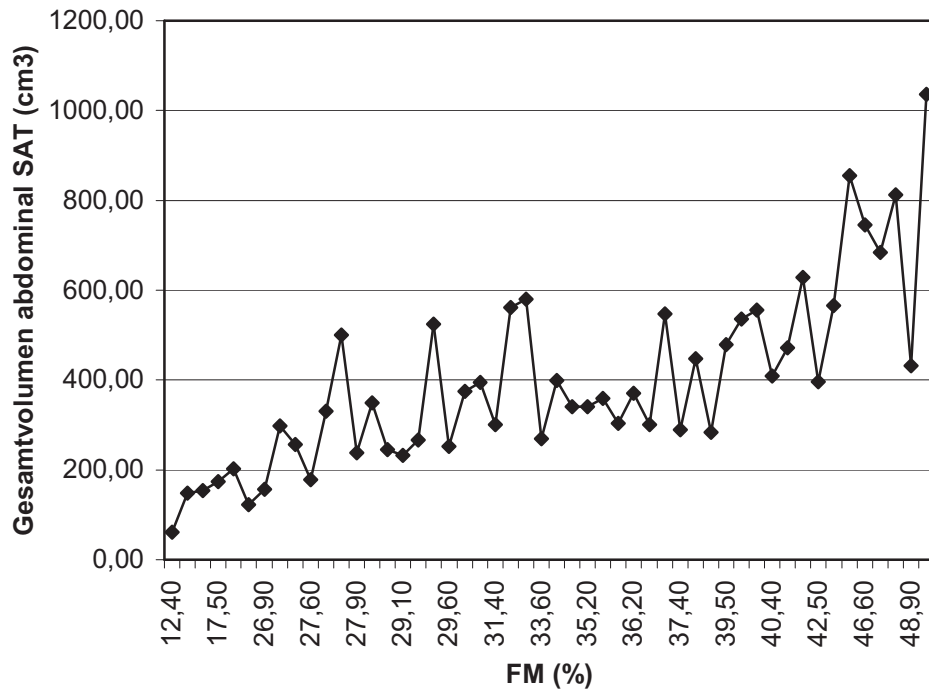


Abb.8 Korrelationen der abdominal subkutanen Fettgewebsvolumina zur prozentualen Fettmasse bei den Frauen

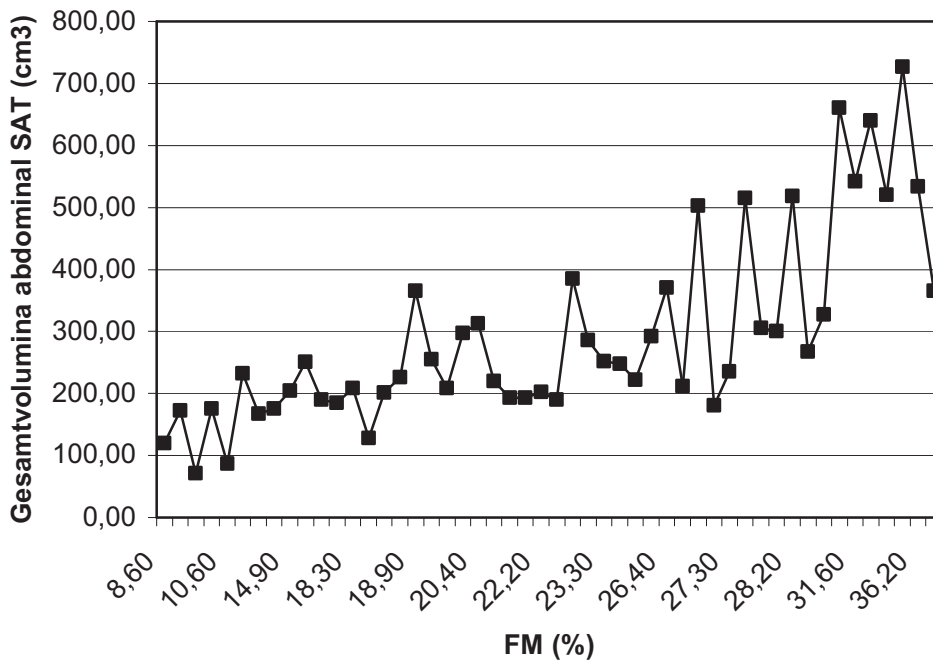


Abb.9 Korrelationen der abdominal subkutanen Fettgewebsvolumina zur prozentualen Fettmasse bei den Männern

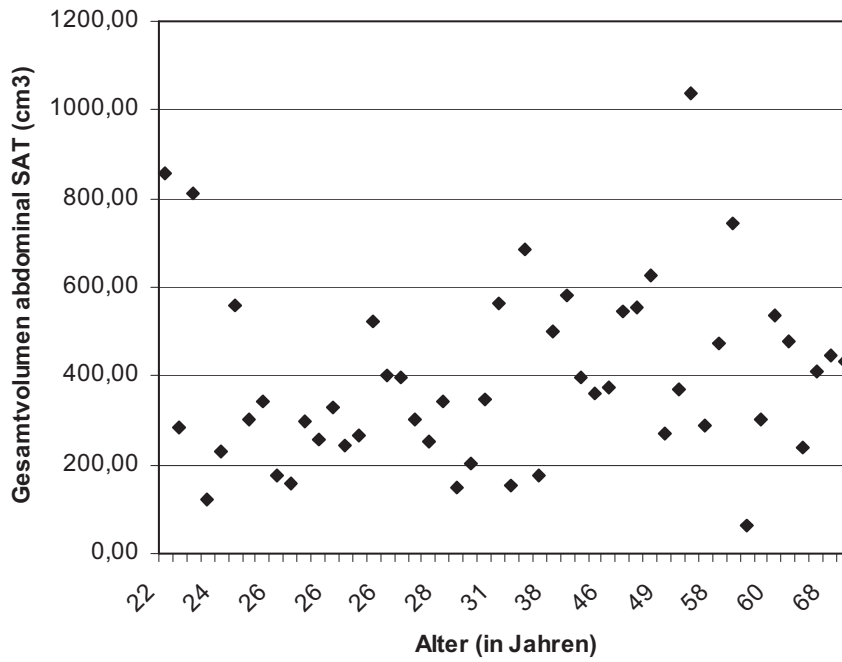


Abb.10 Korrelationen der abdominal subkutanen Fettgewebsvolumina zum Alter bei den Frauen

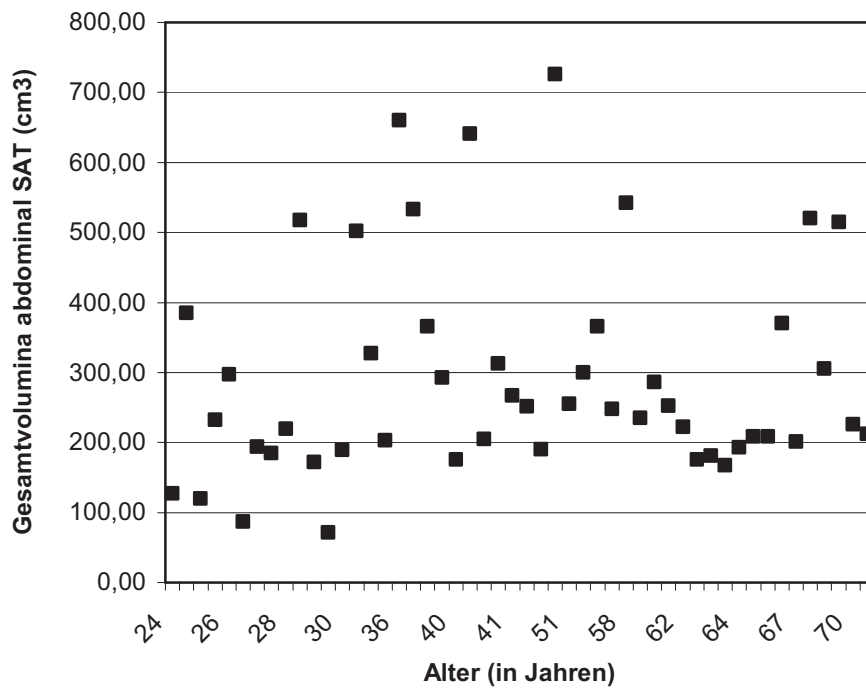


Abb.11 Korrelationen der abdominal subkutanen Fettgewebsvolumina zum Alter bei den Männern

3.1.2 Beziehungen zu transversalen Einzelschichten

Mithilfe einer altersadjustierten Partialkorrelation wurde jede der 14 untersuchten VAT- bzw. abdominal SAT-Flächen sowie die Fläche auf Höhe L4-L5 mit dem Gesamtvolumen an VAT bzw. abdominal SAT korreliert. Die Ergebnisse sind in **Tab.5** dargestellt.

Tab.5 Partialkorrelationen zwischen den VAT- bzw. abdominal SAT-Gesamtvolumina und den 14 transversalen VAT- bzw. abdominal SAT-Einzelschichten sowie der Schicht L4-L5 getrennt nach Geschlechtern (n)

<u>transversale Einzelschicht</u>	<u>lg VAT Volumen</u>		<u>abdominal SAT Volumen</u>	
	w	m	w	m
1	0,76*** (46)	0,76*** (45)	0,91*** (47)	0,81*** (47)
2	0,81*** (46)	0,82*** (45)	0,89*** (47)	0,78*** (47)
3	0,84*** (46)	0,82*** (45)	0,93*** (47)	0,84*** ♣ (47)
4	0,82*** (46)	0,85*** ∞ (45)	0,92*** (47)	0,77*** (47)
5	0,59*** (46)	0,71*** (45)	0,84*** (47)	0,59*** (47)
6	0,73*** (46)	0,71*** (45)	0,87*** (47)	0,62*** (47)
7	0,78*** (46)	0,73*** (45)	0,87*** (47)	0,70*** (47)
8	0,79*** (46)	0,81*** (45)	0,89*** (47)	0,79*** (47)
9	0,83*** (46)	0,82*** (45)	0,88*** (47)	0,74*** (47)
10	0,84*** (46)	0,73*** (45)	0,88*** (47)	0,78*** (47)
11	0,87*** Δ (46)	0,64*** (45)	0,87*** (47)	0,82*** (47)
12	0,83*** (46)	0,64*** (45)	0,89*** (47)	0,83*** (47)
13	0,86*** (46)	0,73*** (45)	0,93*** (47)	0,82*** (47)
14	0,82*** (46)	0,77*** (45)	0,94*** † (47)	0,78*** (47)
L4-L5	0,83*** (47)	0,64*** (46)	0,93*** ▲ (47)	0,92*** ∩∩∩ (47)

VAT, *visceral adipose tissue*; SAT, *subcutaneous adipose tissue*; lg, logarithmiert; Vol, Volumen; L4_L5 = anatomisch separat identifizierte transversale Schicht L4-L5; *** p<0,001; Δ p<0,01 VAT 11 vs VAT 5 bei den Frauen; † p<0,05 SAT 14 vs SAT 5 bei den Frauen; ▲ p<0,05 SAT L4-L5 vs SAT 5 bei den Frauen; ∞ p<0,05 VAT 4 vs VAT 11 bei den Männern; ∩∩∩ p<0,001 SAT L4-L5 vs SAT 5 bei den Männern; ♣ p<0,05 SAT 3 vs SAT 5 bei den Männern; w = weiblich; m = männlich

Bei den Frauen korrelierte die Schicht VAT 11 am engsten zum Gesamtvolumen an VAT. Der Unterschied zwischen der Schicht VAT 11 und der Schicht VAT 5, welche von den 14 Einzelschichten am schlechtesten zum VAT-Volumen korreliert, ist hoch signifikant (**Tab.5**). Bei den Männern spiegelte die Schicht VAT 4 am besten das VAT-Gesamtvolumen wider. Die Schicht VAT 4 und die Schicht VAT 11, welche bei den Männern am schlechtesten zum VAT-Volumen korreliert, sind gleichfalls signifikant verschieden. Bei beiden Geschlechtern korrelierte die Schicht L4-L5 weniger eng zum VAT-Gesamtvolumen als die transversalen Einzelschichten mit der engsten Korrelation zum Volumen (**Tab.5**).

Die Beziehung der transversalen Einzelschichten zum abdominal SAT-Volumen sind gleichfalls in **Tab.5** dargestellt. Bei den Frauen korrelierten die Schichten SAT 3, SAT 13, SAT 14 und SAT L4-L5 vergleichbar eng zum Gesamtvolumen an abdominal SAT. Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen der Schicht SAT 14 und der Schicht SAT 5, welche bei den Frauen am wenigsten zum Gesamtvolumen an abdominal SAT korrelierte. Bei den Männern korrelierte die Schicht L4-L5 am engsten zum Gesamtvolumen an abdominal SAT. Von den 14 Einzelschichten korrelierte bei den Männern die Schicht SAT 3 am engsten zum abdominal SAT-Volumen. Die Schicht SAT 3 korrelierte bei den Männern jedoch weniger eng zum abdominal SAT als die Schicht L4-L5 (**Tab.5**). Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen der Schicht SAT 3 bzw. SAT L4-L5 und der Schicht SAT 5, mit der schlechtesten Korrelation zum abdominal SAT-Volumen (**Tab.5**).

3.1.3 Beziehungen zum kardiometabolischen Risiko

Die Beziehungen zwischen den Volumina von viszeralem bzw. abdominal subkutanem Fettgewebe, der transversalen Einzelschicht mit der höchsten Korrelation zum jeweiligen Volumen sowie der Schicht SAT L4-L5 zu Parametern des kardiometabolischen Risikos sind in **Tab.6** für die Frauen und in **Tab.7** für die Männer dargestellt.

Aus **Tab.6** geht hervor, dass bei den Frauen die transversale Schicht VAT 11 eine höhere Korrelation zum kardiometabolischen Risiko aufweist als das gesamte VAT-Volumen. Die transversale Schicht VAT 11 korreliert zu den Triglyceriden, dem HDL-Cholesterin, den Glukose- und Insulinspiegeln, dem HOMA-Index, den systolischen

und diastolischen Blutdrücken enger als das Gesamtvolumen an VAT und zeigt somit eine engere Assoziation zum kardiometabolischen Risiko. Die transversalen Schichten SAT 14 und SAT L4-L5 sowie das abdominal SAT-Gesamtvolumen korrelieren bei den Frauen gering zu den kardiometabolischen Risikofaktoren **(Tab.6)**.

Aus **Tab.7** geht hervor, dass bei den Männern kein Laborparameter eindeutig zum VAT- bzw. abdominal SAT-Volumen, zu den transversalen Einzelschichten mit der höchsten Korrelation zum jeweiligen Volumen sowie zu der Schicht L4-L5 assoziiert ist. Die Schicht VAT 4 korreliert bei den Männern am engsten mit dem Triglyceridspiegel sowie mit dem systolischen und diastolischen Blutdruck. Das Gesamtvolumen des abdominal SAT korreliert am engstem zum HDL-Cholesterinspiegel, wohingegen die Schicht SAT 3 am engsten zum Insulinspiegel und zum HOMA-Index assoziiert ist. Die Schichten VAT 4 und SAT 3 sowie das abdominal SAT-Gesamtvolumen korrelieren vergleichbar eng zum Glukosespiegel **(Tab.7)**. Die Schicht SAT L4-L5 ist weniger eng zu den kardiometabolischen Risikoparametern assoziiert als die Schichten VAT 4, SAT 3 und das Gesamtvolumen an VAT bzw. abdominal SAT.

Bei beiden Geschlechtern ist das VAT insgesamt enger zum kardiometabolischen Risiko assoziiert als das abdominal SAT.

Tab.6 Altersadjustierte Partialkorrelationen zwischen dem VAT- bzw. abdominal SAT-Volumen, den transversalen Einzelschichten mit der höchsten Korrelation zum Volumen sowie der Schicht SAT L4-L5 zu kardiometabolischen Risikoparametern bei den Frauen (n)

<u>Frauen</u>	Ig_VAT_Vol	VAT 11	abdominal SAT_Vol	SAT 14	SAT L4-L5
Ig_Triglyceride (mg/dl)	0,24 (45)	0,39** (44)	0,22 (45)	0,21 (45)	0,14 (45)
Gesamtcholesterin (mg/dl)	0,02 (45)	-0,05 (44)	-0,04 (45)	-0,07 (45)	-0,10 (45)
HDL – Cholesterin (mg/dl)	-0,36* (45)	-0,46** (44)	-0,42** (45)	-0,38** (45)	-0,39** (45)
LDL - Cholesterin (mg/dl)	0,14 (45)	0,06 (44)	0,11 (45)	0,06 (45)	0,06 (45)
Glukose (mg/dl)	0,29* (45)	0,49** (44)	0,30* (45)	0,32* (45)	0,17 (45)
Ig_Insulinspiegel (µU/ml)	0,40** (45)	0,55*** (44)	0,28 (45)	0,25 (45)	0,23 (45)
Ig_HOMA-Index (mU/l*mg/dl)	0,42** (45)	0,59*** (44)	0,31* (45)	0,29* (45)	0,24 (45)
Ig_RR _{sys}	0,29* (46)	0,44** (45)	0,21 (46)	0,18 (46)	0,20 (46)
Ig_RR _{dias}	0,34** (45)	0,47** (45)	0,31* (46)	0,31* (46)	0,28 (46)

VAT, *visceral adipose tissue*; SAT, *subcutaneous adipose tissue*; Cholesterin, Gesamtcholesterin; HDL, *high density lipoproteins*; LDL, *low density lipoproteins*; HOMA, *homeostasis model assessment*; RR, Blutdruck; sys, systolisch; dias, diastolisch; Ig, logarithmiert; Vol, Volumen; SAT L4-L5 = anatomisch separat identifizierte transversale Schicht L4-L5; * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001

Tab.7 Altersadjustierte Partialkorrelationen zwischen dem VAT- bzw. abdominal SAT-Volumen, den transversalen Einzelschichten mit der höchsten Korrelation zum Volumen sowie der Schicht SAT L4-L5 zu kardiometabolischen Risikoparametern bei den Männern (n)

<u>Männer</u>	Ig_VAT_Vol	VAT 4	abdominal SAT_Vol	SAT L4-L5	SAT 3
Ig_Triglyceride (mg/dl)	0,29* (45)	0,32* (45)	0,31* (46)	0,31* (46)	0,23 (46)
Gesamtcholesterin (mg/dl)	0,13 (46)	0,13 (46)	-0,07 (47)	-0,04 (47)	-0,13 (47)
HDL – Cholesterin (mg/dl)	-0,43** (46)	-0,39** (46)	-0,53*** (47)	-0,44** (47)	-0,43** (47)
LDL - Cholesterin (mg/dl)	0,25 (46)	0,20 (46)	0,07 (47)	0,05 (47)	-0,04 (47)
Glukose (mg/dl)	0,24 (46)	0,32* (46)	0,32* (47)	0,25 (47)	0,32* (47)
Ig_Insulinspiegel (µU/ml)	0,48** (46)	0,54*** (46)	0,51*** (47)	0,50*** (47)	0,57*** (47)
Ig_HOMA-Index (mU/l*mg/dl)	0,49*** (46)	0,56*** (46)	0,53*** (47)	0,52*** (47)	0,59*** (47)
Ig_RR _{sys}	0,45** (46)	0,59*** (46)	0,27 (47)	0,25 (47)	0,32* (47)
Ig_RR _{dias}	0,39** (46)	0,49*** (46)	0,39** (47)	0,38** (47)	0,39** (47)

VAT, *visceral adipose tissue*; SAT, *subcutaneous adipose tissue*; Cholesterin, Gesamtcholesterin; HDL, *high density lipoproteins*; LDL, *low density lipoproteins*; HOMA, *homeostasis model assessment*; RR, Blutdruck; sys, systolisch; dias, diastolisch; Ig, logarithmiert; Vol, Volumen; L4-L5 SAT = anatomisch separat identifizierte transversale Schicht L4-L5; * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001; w = weiblich; m = männlich

3.2 Taillenumfänge an drei Referenzpunkten

Tab.8 zeigt die Taillenumfänge unter dem Rippenbogen, zwischen Rippenbogen und Beckenkamm sowie über der Crista iliaca getrennt nach Geschlechtern. Bei den Männern ist der Taillenumfang an allen Referenzpunkten größer als bei den Frauen. Bei beiden Geschlechtern nimmt der Taillenumfang vom unteren Rippenbogen bis zum Beckenkamm zu. Bei den Frauen divergieren die Taillenumfangswerte an den drei Referenzpunkten stärker voneinander als bei den Männern, deren Taillenumfangswerte unabhängig vom Referenzpunkt nur gering variieren (**Tab.8**). Die drei Taillenumfänge unterscheiden sich bei den Frauen hoch signifikant voneinander. Bei den Männern unterscheidet sich der Taillenumfang unter dem Rippenbogen hoch signifikant vom Taillenumfang über dem Beckenkamm sowie vom Taillenumfang in der Mitte der beiden Referenzpunkte (**Tab.8**).

Tab.8 Taillenumfänge an drei Referenzpunkten bei Frauen und Männern (MW±SD)

	Frauen (n = 50)	Männer (n = 50)
WC 1 (cm), unterer Rippenbogen	79,9 ± 10,7***	91,3 ± 11,6***
WC 3 (cm), Mitte	84,4 ± 12,0^{△△△}	93,7 ± 12,2
WC 2 (cm), über Beckenkamm	89,1 ± 10,9^{†††}	94,1 ± 10,9^{†††}

WC, Taillenumfang; *** p<0,001 WC 1 vs. WC 2; ^{△△△} p<0,001 WC 2 vs. WC 3; ^{†††} p<0,001 WC 1 vs. WC 3

3.2.1 Beziehungen zu den Volumina von viszeralem und abdominal subkutanem Fettgewebe

Tab.9 zeigt die Beziehung der Taillenumfänge unter dem Rippenbogen, in der Mitte zwischen Rippenbogen und Beckenkamm sowie über der Crista iliaca zum Volumen an VAT bzw. abdominal SAT getrennt nach Geschlechtern.

Tab.9 Partialkorrelationen zwischen dem VAT- bzw. abdominal SAT-Gesamtvolumen und Taillenumfängen an drei Referenzpunkten getrennt nach Geschlechtern (n)

	<u>WC 1</u>		<u>WC 3 (Mitte)</u>		<u>WC 2</u>	
	w (n=50)	m (n=50)	w (n=50)	m (n=50)	w (n=50)	m (n=50)
abd_SAT_Vol(cm³)	0,85***	0,73***	0,86 ***	0,77***	0,88***	0,77***
lg_VAT_Vol (cm³)	0,87***	0,74***	0,83***	0,76***	0,84***	0,76***

WC 1, Taillenumfang unterer Rippenbogen; WC 2, Taillenumfang direkt über Beckenkamm; WC 3, Taillenumfang mittig zwischen Rippenbogen und Beckenkamm; VAT, *visceral adipose tissue*; SAT, *subcutaneous adipose tissue*; Vol, Volumen; abd, abdominal; lg, logarithmiert; *** p<0,001; w = weiblich; m = männlich

Bei den Frauen ist der Taillenumfang direkt unterhalb des Rippenbogens enger zum VAT-Gesamtvolumen assoziiert als die Taillenumfänge über dem Beckenkamm und in der Mitte beider Referenzpunkte (**Tab.9**). Die Korrelationen der Taillenumfänge über dem Beckenkamm und in der Mitte der beiden genannten Referenzpunkte zum VAT-Volumen unterscheiden sich nur gering. Beide sind weniger eng zum VAT-Gesamtvolumen assoziiert als der WC direkt unterhalb des Rippenbogens. Die Korrelationen der unterschiedlichen Taillenumfänge zum abdominal SAT-Volumen sind bei den Frauen vergleichbar eng (**Tab.9**).

Bei den Männern korrelieren alle drei Taillenumfänge vergleichbar eng zum VAT- bzw. abdominal SAT-Volumen (**Tab.9**).

3.2.2 Beziehungen zum kardiometabolischen Risiko

Die Beziehungen der Taillenumfänge an drei Referenzpunkten zu kardiometabolischen Risikoparametern sind in **Tab.10** für Frauen und Männer getrennt dargestellt.

Bei den Frauen ist der Taillenumfang direkt unterhalb des Rippenbogens am engsten zu den kardiometabolischen Risikofaktoren assoziiert. Dieser korreliert signifikant zum Insulinspiegel, zum HOMA-Index und zum diastolischen Blutdruck sowie invers zum HDL-Cholesterinspiegel. Der Taillenumfang über dem Beckenkamm korreliert signifikant zum Insulinspiegel, zum HOMA-Index und invers zum HDL-Cholesterinspiegel. Der Taillenumfang in der Mitte zwischen Rippenbogen und Beckenkamm korreliert dagegen lediglich signifikant mit den beiden zuletzt genannten kardiometabolischen Risikofaktoren (**Tab.10**).

Bei den Männern sind alle drei Taillenumfänge vergleichbar eng zu den kardiometabolischen Risikofaktoren assoziiert. Triglyceride, systolischer und diastolischer Blutdruck korrelieren am engsten zum Taillenumfang unterhalb des Rippenbogens. Insulinspiegel, HOMA-Index und diastolischer Blutdruck korrelieren eng zum Taillenumfang über dem Beckenkamm. HDL-Cholesterin und Glukosespiegel sind am engsten mit dem Taillenumfang in der Mitte zwischen Rippenbogen und Crista iliaca assoziiert (**Tab.10**). Die Unterschiede zwischen den Korrelationskoeffizienten sind jeweils gering. (**Tab.10**).

Tab.10 Altersadjustierte Partialkorrelationen zwischen den an drei Referenzpunkten gemessenen Taillenumfängen und den kardiometabolischen Risikofaktoren, dem Cholesterin- und Insulinspiegel, den Low-Density-Lipoproteinen und dem HOMA-Index getrennt für Frauen und Männer (n)

	<u>WC1</u>		<u>WC3 (Mitte)</u>		<u>WC2</u>	
	w	m	w	m	w	m
Ig_Triglyceride (mg/dl)	0,24 (45)	0,32* (46)	0,25 (45)	0,30* (46)	0,20 (45)	0,30* (46)
Gesamtcholesterin (mg/dl)	-0,06 (45)	-0,14 (47)	-0,01 (45)	-0,16 (47)	0,03 (45)	-0,16 (47)
HDL – Cholesterin (mg/dl)	-0,45** (45)	-0,55*** (47)	-0,40** (45)	-0,56*** (47)	-0,34* (45)	-0,55*** (47)
LDL - Cholesterin (mg/dl)	0,10 (45)	-0,02 (47)	0,14 (45)	-0,02 (47)	0,16 (45)	-0,03 (47)
Glukose (mg/dl)	0,25 (45)	0,30* (47)	0,21 (45)	0,32* (47)	0,26 (45)	0,31* (47)
Ig_Insulinspiegel (µU/ml)	0,37* (45)	0,52*** (47)	0,28 (45)	0,53*** (47)	0,29* (45)	0,55*** (47)
Ig_HOMA-Index (mU/l*mg/dl)	0,38** (45)	0,54*** (47)	0,30* (45)	0,55*** (47)	0,31* (45)	0,56*** (47)
Ig_RR_{sys}	0,26 (46)	0,45** (47)	0,24 (46)	0,42** (47)	0,22 (46)	0,43** (47)
Ig_RR_{dias}	0,31* (46)	0,46** (47)	0,28 (46)	0,44** (47)	0,23 (46)	0,46** (47)

WC 1, Taillenumfang unterer Rippenbogen; WC 2, Taillenumfang direkt über Beckenkamm; WC 3, Taillenumfang mittig zwischen Rippenbogen und Beckenkamm; HDL, *high density lipoproteins*; LDL, *low density lipoproteins*; HOMA, *homeostasis model assessment*; RR, Blutdruck; sys, systolisch; dias, diastolisch; Ig, logarithmiert; Vol, Volumen; * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001

Bewertung des kardiometabolischen Risikos unter Verwendung definierter Cutoffs der IDF und der WHO

Tab.11 zeigt die Prävalenzen erhöhter Taillenumfänge an drei Referenzpunkten bei den 100 untersuchten Frauen und Männern unter Anwendung definierter *Cutoffs* der IDF und der WHO und damit die Prävalenz eines erhöhten gesundheitlichen Risikos.

Tab.11 Prävalenzen erhöhter Taillenumfänge an drei Referenzpunkten bei Anwendung definierter *Cutoffs* der IDF und der WHO getrennt für Frauen und Männer (n)

n	IDF		WHO	
	w (WC > 80cm)	m (WC > 94cm)	w (WC > 88cm)	m (WC > 102cm)
WC 1	22	16	11	11
WC 3 (Mitte)	30	20	17	15
WC 2	38	22	24	14

WC 1, Taillenumfang unterer Rippenbogen; WC 2, Taillenumfang direkt über Beckenkamm; WC 3, Taillenumfang mittig zwischen Rippenbogen und Beckenkamm; IDF=*International Diabetes Federation*; WHO=*World-Health-Organization*; w = weiblich; m = männlich

Unter Verwendung der IDF-*Cutoffs* für einen erhöhten Taillenumfang werden bei beiden Geschlechtern deutlich mehr Probanden als kardiometabolisch gefährdet klassifiziert als unter Verwendung der *Cutoffs* der WHO. Dies wird vor allem bei den untersuchten Frauen deutlich. Abhängig von der Wahl des *Cutoffs* unterscheidet sich bei den Frauen die Anzahl der Probandinnen, die als kardiometabolisch gefährdet bewertet werden je nach Fachgesellschaft, um bis zu 50% (**Tab.11**). Bei der Taillenumfangmessung unterhalb des Rippenbogens sind nach dem *Cutoff* der IDF doppelt so viele Probandinnen kardiometabolisch gefährdet als nach dem *Cutoff* der WHO (**Tab.11**). Die Mitte zwischen dem Unterrand des Rippenbogens und der Crista iliaca dient bei beiden Fachgesellschaften als Referenzpunkt zur Taillenumfangmessung. An diesem Referenzpunkt sind nach dem *Cutoff* der IDF im Vergleich zum *Cutoff* der WHO gleichfalls annähernd doppelt so viele Frauen

aufgrund ihres Taillenumfangs gesundheitlich gefährdet. Über dem Beckenkamm divergieren die Prävalenzen erhöhter Taillenumfänge bei den Frauen unter Berücksichtigung der unterschiedlichen *Cutoffs* am geringsten.

Bei den Männern unterscheiden sich auf der Höhe des Beckenkamms die Prävalenzen erhöhter Taillenumfänge je nach *Cutoff* am deutlichsten voneinander. Die Prävalenzen erhöhter Taillenumfänge unter dem Rippenbogen und in der Mitte zwischen Rippenbogen und Beckenkamm divergieren bei den Männern unter Berücksichtigung der unterschiedlichen *Cutoffs* weniger voneinander als direkt über dem Beckenkamm.

Insgesamt ist der Unterschied in der Bewertung eines erhöhten Taillenumfangs abhängig von den *Cutoffs* der jeweiligen Fachgesellschaft bei den Frauen deutlich größer als bei den Männern.

4 Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wird deutlich, dass die Wahl des Referenzpunktes zur Erstellung einer transversalen Einzelschichtaufnahme einen entscheidenden Einfluss auf die Beurteilung der viszeralen Fettmasse und des gesundheitlichen Risikos hat. Das VAT-Volumen variiert abhängig vom Referenzpunkt. Des Weiteren wurden die drei in wissenschaftlichen Studien am häufigsten verwendeten Referenzpunkte zur Taillenumfangmessung hinsichtlich ihrer Beziehung zum viszeralen Fettgewebsvolumen und zum kardiometabolischen Risiko untersucht. Bei den Männern sind die Taillenumfänge an den drei Referenzpunkten vergleichbar eng zum Gesamtvolumen an VAT und zum kardiometabolischen Risiko assoziiert. Bei den Frauen zeigt der Taillenumfang direkt unterhalb des Rippenbogens die engste Beziehung zum VAT-Volumen und zum kardiometabolischen Risiko.

Im Folgenden werden zunächst Determinanten der Volumina von viszeralem und abdominal subkutanem Fettgewebe diskutiert. Im Anschluss wird detailliert auf die Beziehung dieser Fettgewebsvolumina zu transversalen Einzelschichten und zum kardiometabolischen Risiko eingegangen.

4.1 Beziehungen des viszeralen und abdominal subkutanen Fettgewebes zu Alter, Geschlecht und Körperfettmasse

Das Geschlecht hat einen entscheidenden Einfluss auf die Volumina und die Verteilung von viszeralem und abdominal subkutanem Fettgewebe. Aus **Tab.3** geht hervor, dass Frauen durchweg einen höheren Anteil an abdominal SAT haben als Männer, während Männer im Vergleich zu Frauen einen größeren Anteil an VAT aufweisen. Bei den Männern war die Verteilung des viszeralen Fettgewebes auf Höhe der Schichten VAT 2 und VAT 3, sowie VAT 8-11 besonders ausgeprägt, wohingegen sich bei den Frauen die Verteilung des VAT auf allen 14 Einzelschichten gering unterschied (**Abb.3a**). Das abdominal SAT war bei den Frauen auf Höhe SAT 1-4 und im Bereich der Hüfte besonders ausgeprägt. Eine ähnliche Verteilung des abdominal SAT ist bei den Männern zu beobachten, allerdings ist das Volumen an abdominal SAT insgesamt geringer (**Abb.3b**). Zu einem vergleichbaren Ergebnis kamen Kuk et al. 2005, die in ihrer Studie herausfanden, dass Frauen im Vergleich zu Männern ein höheres Gesamtfettgewebsvolumen aufweisen, insbesondere einen

höheren Anteil an abdominal SAT. Männer hingegen weisen einen höheren Anteil an VAT auf. In der Studie von Schreiner et al. 1996 konnte gleichfalls gezeigt werden, dass Männer einen höheren VAT-Anteil haben als Frauen. Schreiner et al. 1996 zeigten auch, dass sich der VAT-Anteil der Frauen mit zunehmendem Taillenumfang an den VAT-Anteil der Männer angleicht. Im Unterschied dazu fanden Pouliot et al. 1994 in ihrer Studie heraus, dass der VAT-Anteil bei Frauen und Männern vergleichbar hoch ist. Die unterschiedlichen Aussagen hinsichtlich des VAT-Anteils und der Fettverteilung zwischen den Geschlechtern sind möglicherweise auf die unterschiedlichen Referenzpunkte zurückzuführen, auf deren Höhe der VAT-Anteil in den einzelnen Studien bestimmt wurde. In der Studie von Pouliot et al. 1994 wurde das VAT auf Höhe des schmalsten Taillenumfangs bestimmt, in der Studie von Schreiner et al. 1996 wurde bei beiden Geschlechtern das VAT auf Höhe des Bauchnabels ausgewertet. Da in der vorliegenden Arbeit das gesamte VAT-Volumen bestimmt wurde, ist eine wesentlich genauere Aussage hinsichtlich des VAT-Anteils und hinsichtlich der Verteilung des Fettgewebes bei beiden Geschlechtern möglich als unter Verwendung eines einzigen Referenzpunktes.

Unabhängig vom Geschlecht nimmt mit steigendem Alter das viszerale Fettgewebe zu (**Tab.4, Abb.6, Abb.7**). Das Volumen an abdominal SAT wird dagegen durch das Alter nur gering beeinflusst (**Tab.4, Abb.10, Abb.11**). Mit zunehmender Gesamtkörperfettmasse nimmt bei beiden Geschlechtern der VAT-Anteil zu (**Tab.4, Abb.4, Abb.5**). Auch das abdominal SAT-Volumen steigt bei beiden Geschlechtern mit zunehmender Gesamtkörperfettmasse. Im Vergleich zum viszeralen Fettgewebe ist der Unterschied in der Zunahme des abdominal SAT bei beiden Geschlechtern mit zunehmender Fettmasse stärker ausgeprägt (**Abb.8, Abb.9**). Passend dazu fanden Kuk et al. 2005 heraus, dass das viszerale Fettgewebe besonders bei den Frauen im Alter zunimmt. Sie konnten zeigen, dass sich der VAT-Anteil der Frauen nach der Menopause fast an den VAT-Anteil der Männer angleicht. Auch Zamboni et al. 1992, Toth et al. 2000 und Kanaley et al. 2001 konnten eine präferentielle Anreicherung des VAT bei postmenopausalen Frauen nachweisen. Der Einfluss des Menopausenstatus auf das VAT wird von Guthrie et al. 2003 auf die Veränderung in der Sexualhormonkonzentration und den damit verbundenen Veränderungen im Metabolismus zurückgeführt. Tchernof et al. 2004 konnten in ihrer Studie nachweisen, dass bei postmenopausalen Frauen die Aktivität der im Blut

vorhandenen Lipoproteinlipasen erhöht ist. Dadurch kommt es zu einer gesteigerten Aufnahme gesundheitsschädigender freier Fettsäuren und einer vermehrten Anreicherung im VAT. Sumino et al. 2003 konnten darüber hinaus zeigen, dass unter einer Hormon-Ersatz-Therapie die Anreicherung von VAT bei postmenopausalen Frauen negativ beeinflusst wird.

Shen et al. 2009 untersuchten den Einfluss des Alters auf das VAT und abdominal SAT bei 147 Kindern, 188 Frauen und 164 Männern im Alter von 5-88 Jahren, unterschiedlicher ethnischer Herkunft und unter Berücksichtigung des Menopausenstatus. Sie konnten in ihrer Studie zeigen, dass Frauen zeitlebens mehr abdominal SAT haben, Männer dagegen einen höheren VAT-Anteil aufweisen. In Übereinstimmung mit diesen Befunden sind auch die Ergebnisse dieser Arbeit.

4.2 Beziehungen des viszeralen und abdominal subkutanen Fettgewebes zu transversalen Einzelschichten

Ergebnisse bei den Männern

Bei den Männern konnte die engste Korrelation zwischen transversaler Einzelschicht und dem Gesamtvolumen an VAT auf Höhe VAT 4 gezeigt werden (**Tab.5**). Diese Schicht liegt proximal der in vielen Studien verwendeten Schicht L4-L5. Zu einem vergleichbaren Ergebnis kamen Kuk et al. 2006, die in ihrer Studie an 85 Männern mittleren Alters herausfanden, dass nicht die Schicht L4-L5, sondern die transversalen Einzelschichtaufnahmen auf Höhe L1-L2 und L2-L3 bei Männern am engsten mit dem Gesamtvolumen an VAT korrelieren. Abate et al. 1997 zeigten in ihrer Studie an 49 Männern von 35 bis 73 Jahren und einem weiten BMI Bereich (21,0 – 46,4 kg/m²) gleichfalls eine enge Korrelation zwischen der transversalen Schicht L2-L3 und dem Volumen an VAT. Im Einklang damit sind die Ergebnisse dieser Arbeit. Die in der vorliegenden Arbeit bei Männern am engsten zum VAT-Volumen assoziierte Schicht VAT 4 liegt gleichfalls proximal der Schicht L4-L5.

Paré et al. 2001 zeigten in ihrer Studie, dass mit einer Reduktion des viszeralen Fettgewebes eine Reduktion des gesundheitlichen Risikos einhergeht. Sie untersuchten 45 adipöse Männer mittleren Alters, die sie zunächst durch Randomisierung in zwei Gruppen einteilten. Die eine Gruppe erhielt ein Placebo, die

andere Gruppe Gemfibrozil (1200 mg/d) für die Dauer eines Jahres. Außerdem hielten sich beide Gruppen für den gesamten Zeitraum der Studie an zuvor genau festgelegte Ernährungsrichtlinien. Während der zweiten Hälfte des Jahres nahmen die Probanden zusätzlich an einem Sportprogramm teil, das wahlweise aus Fahrradfahren oder schnellem Gehen auf einem Laufband bestand. Paré et al. 2001 fanden heraus, dass bei Probanden beider Gruppen der Anteil des VAT signifikant reduziert wurde und damit nachweislich das gesundheitliche Risiko an einem MSX zu erkranken, gesenkt werden konnte. Ihre Ergebnisse gründeten Paré et al. 2001 auf den Vergleich zweier transversaler CT-Einzelschichtaufnahmen, die sie bei jedem Probanden auf Höhe L2-L3 und L4-L5 erstellten, wobei die Schicht L2-L3 enger zum VAT-Volumen assoziiert war, als die Schicht L4-L5. Damit folgerten sie, reiche eine transversale Einzelschichtaufnahme für die Beurteilung des VAT und des damit verbundenen gesundheitlichen Risikos aus. Proximal der Schicht L4-L5 liegt auch die in der vorliegenden Arbeit bei den Männern eng zum VAT-Volumen assoziierte Schicht VAT 4.

Ergebnisse bei den Frauen

Han et al. 1997 untersuchten 23 adipöse Frauen und Männer im Alter von 44 bis 74 Jahren und wiesen in ihrer Studie nach, dass alle Einzelschichten zwischen L1 und L5 sehr eng mit dem gesamten intraabdominalen Fett korrelieren. Im Einklang damit zeigt **Tab.5**, dass bei den Frauen die distal gelegene Schicht VAT 11 am besten mit dem Gesamtvolumen an VAT korreliert. Eine Erklärung dafür könnte darin begründet sein, dass Frauen ein großes und ausladendes Becken haben, welches der Anreicherung von omentalem und mesenterialem Fettgewebe mehr Platz bietet. Hormonelle Ursachen können bei Frauen die präferentielle Anreicherung von Fettgewebe im Unterbauchbereich begünstigen. Tchernof et al. 2004 untersuchten in ihrer Studie den Einfluss von Ovarialhormonen auf den VAT-Metabolismus bei 19 prä- und 10 postmenopausalen Frauen. Sie wiesen nach, dass die Einlagerung freier Fettsäuren in das VAT bei Frauen in der Postmenopause zunimmt. Die Beobachtung von Tchernof et al. 2004, dass abhängig vom Hormoneinfluss eine präferentielle Anreicherung von VAT in omentalem Fettgewebe stattfindet, stellt eine mögliche Erklärung dafür dar, dass bei den Frauen die distal gelegene Schicht VAT 11 am engsten mit dem Gesamtvolumen an VAT assoziiert ist. Ein weiterer Grund für die

enge Korrelation zwischen VAT-Volumen und der transversalen Schicht VAT 11 kann die Tatsache sein, dass auf dieser Höhe weniger Skelettmuskulatur lokalisiert ist als in den darüber gelegenen Schichten, sodass hier mehr VAT angereichert werden kann. Shen et al. 2004 zeigten in ihrer Studie mit 123 Männern und 205 Frauen mittleren Alters, dass die höchste Korrelation zwischen einer transversalen MRT-Einzelschicht und dem Skelettmuskulatur-Volumen 5cm oberhalb von L4-L5 liegt. Die höchste Korrelation zwischen einer transversalen Einzelschicht und dem Fettgewebsvolumen fanden die Autoren 5cm unterhalb von L4-L5. In den Bereich distal der Schicht L4-L5 fällt auch die in der vorliegenden Arbeit bei den Frauen am engsten zum VAT-Volumen assoziierte Schicht VAT 11.

Des Weiteren zeigt die vorliegende Arbeit bei den Frauen eine enge Korrelation zwischen dem Volumen an abdominal SAT und den distal gelegenen Schichten SAT 13, SAT 14 und SAT L4-L5 (**Tab.5**). Auch bei den Männern korrelierte die Schicht SAT L4-L5 am engsten zum Volumen an abdominal SAT (**Tab.5**). Im Einklang damit fanden Kuk et al. 2006 heraus, dass die Schicht L2-L3 eng zum Gesamtvolumen an abdominal SAT assoziiert ist.

4.3 Beziehungen des viszeralen und abdominal subkutanen Fettgewebes zum kardiometabolischen Risiko

Die große Bedeutung des VAT im Hinblick auf das gesundheitliche Risiko konnte bereits in mehreren Studien gezeigt werden (Nielsen et al. 2004, Faria et al. 2002, Rissanen et al. 1994). Dieses Ergebnis steht auch im Einklang mit den Ergebnissen dieser Arbeit. Der enge Zusammenhang zwischen dem Gesamtvolumen an VAT und den kardiometabolischen Risikofaktoren wird in **Tab.6** und **Tab.7** deutlich: Während das abdominal SAT bei beiden Geschlechtern eine signifikante, aber geringe Korrelation zu den kardiometabolischen Risikofaktoren aufweist, sind sowohl bei den Frauen als auch bei den Männern der Triglycerid-, der Glukose- und Insulinspiegel, der HOMA-Index sowie der systolische und diastolische Blutdruck eng mit dem Gesamtvolumen an VAT assoziiert. Protektiv wirksame HDL-Lipoproteine werden, besonders mit steigendem VAT-Anteil, vermindert gebildet (**Tab.6, Tab.7**).

In einer Studie von Nielsen et al. 2004 konnte erklärt werden, dass die Plasmakonzentration freier Fettsäuren bei adipösen Personen bis zu 20% höher war

als bei schlanken Personen. Der Anteil freier Fettsäuren, die aus dem VAT freigesetzt wurden und über die Portalvene die Leber erreichten, variierte je nach Ernährungszustand der Probanden zwischen 10% bei schlanken Personen und 50% bei Adipösen. Die Leber reagierte auf das vermehrte Angebot freier Fettsäuren mit einer Veränderung ihres Metabolismus: Es wurden mehr triglyceridreiche Lipoproteine gebildet, die die Organe und das Gefäßsystem belasten, und weniger protektiv wirkende HDL-Lipoproteine. Eine Erhöhung des Triglyceridspiegels und eine verminderte HDL-Produktion bei steigendem VAT-Anteil werden in der vorliegenden Studie bestätigt (**Tab.6, Tab.7**).

Beziehungen zwischen Fettgewebsvolumen, transversaler Einzelschicht und dem kardiometabolischen Risiko bei den Frauen

Über die bisherigen Studien hinaus konnte in dieser Arbeit gezeigt werden, dass bei den Frauen die Schicht VAT 11 nicht nur zum Gesamtvolumen an VAT eng korreliert, sondern auch zum gesundheitlichen Risiko (**Tab.6**). Aus **Tab.6** geht hervor, dass die transversale Einzelschicht VAT 11 sogar enger zu den kardiometabolischen Risikofaktoren assoziiert ist als das Gesamtvolumen an VAT. Dies scheint zunächst nicht einleuchtend, wenn man annimmt, dass das VAT-Volumen, welches mithilfe multipler Einzelschichtaufnahmen ermittelt wurde, eine engere Korrelation zu diesen Parametern aufweisen müsste als eine einzelne Schicht. Diese Annahme wäre allerdings nur dann richtig, wenn man weiterhin davon ausgeht, dass der Adipozyten-Metabolismus im gesamten VAT homogen ist. Rebuffe-Scrive et al. 1990 konnten in ihrer Studie jedoch zeigen, dass die omentalen und mesenterialen Adipozyten, die über die Portalvene drainiert werden, eine wesentlich höhere lipolytische Aktivität aufweisen als die Adipozyten aus dem retroperitonealen Fettgewebe, die in die systemische Zirkulation drainiert werden. Auf diese Weise wird die Leber bei übermäßigem VAT-Anteil in entsprechend höherem Maße gesundheitsschädigenden freien Fettsäuren exponiert. Diese Erkenntnis ist von großer Bedeutung für die Interpretation der Ergebnisse dieser Arbeit, weil sie vermuten lässt, dass eine an adäquater Stelle durchgeführte MRT-Einzelschichtaufnahme durchaus mehr Aufschluss über das gesundheitliche Risiko einer Person geben kann als das gesamte Volumen an VAT, welches bisher den Goldstandard darstellte.

Beziehungen zwischen Fettgewebsvolumen, transversaler Einzelschicht und dem kardiometabolischen Risiko bei den Männern

Bei den Männern konnte eine enge Korrelation zwischen der am engsten zum Gesamtvolumen an VAT assoziierten Schicht VAT 4 und den kardiometabolischen Risikoparametern gezeigt werden (**Tab.7**). In Übereinstimmung mit diesem Befund fanden Shen et al. 2007 heraus, dass nicht die lange Zeit in wissenschaftlichen Studien verwendete Schicht L4-L5 bei den Männern die engste Korrelation des VAT zu den kardiometabolischen Risikofaktoren aufweist, sondern eine Schicht 10-15cm oberhalb von L4-L5. Dieses Ergebnis ist kongruent mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit, da die Schicht VAT 4 in dem von Shen et al. 2007 genannten Bereich liegt. Auch die Schichten SAT 3 und SAT L4-L5 weisen eine Korrelation zu den kardiometabolischen Risikofaktoren auf. Ein möglicher Grund dafür, dass bei den Männern kein Laborparameter eindeutig zu den Schichten VAT 4, SAT 3 und SAT L4-L5 korreliert, können regionale Unterschiede hinsichtlich der metabolischen Aktivität der Fettgewebskompartimente sein. Sudi et al. 2001, Bruun et al. 2005 und Wajchenberg 2000 fanden heraus, dass das Proteohormon Leptin und das Adipokin Adiponectin vermehrt im subkutanen Fettgewebe exprimiert werden. Die Adipokine Interleukin-6, Tumor-Nekrose-Faktor- α , Monozyten-Chemoattraktives Protein-1 und Plasminogen-Aktivator-Inhibitor-1 haben hingegen Einfluss auf die lipolytische Aktivität des viszeralen Fettgewebes. Vor allem die hohe Expression von Beta-Rezeptoren im viszeralen Fettgewebe steht in engem Zusammenhang mit der vermehrten Freisetzung freier Fettsäuren, die die Leber und das Gefäßsystem belasten. Die Unterschiede hinsichtlich des Metabolismus im VAT bzw. abdominal SAT stellen eine mögliche Ursache für die divergierenden Assoziationen der transversalen Einzelschichten zu den kardiometabolischen Risikoparametern bei den Männern dar.

Eine weitere Erklärung dafür, dass bei den Männern die einzelnen Risikoparameter unterschiedlich stark zu den Schichten VAT 4, SAT 3 und SAT L4-L5 korrelieren, kann die im Hinblick auf das Körpergewicht heterogen gewählte Studienpopulation sein. Thomas und Bell 2003 fanden in ihrer Studie heraus, dass die Korrelation zwischen transversaler Einzelschichtaufnahme und dem gesamten abdominalen Fettgewebsvolumen mit dem Ernährungszustand variiert. Sie konnten zeigen, dass eine transversale Einzelschichtaufnahme auf Höhe L2-L3 bei schlanken Probanden

am besten mit dem gesamten abdominalen Körperfett korreliert, bei adipösen Personen dagegen eine transversale Einzelschichtaufnahme auf Höhe L4-L5. Da in der vorliegenden Arbeit die Probanden nicht nach ihrem Körpergewicht kategorisiert wurden, weil die Sub-Gruppen mit ihren niedrigen n-Zahlen eine zu geringe Aussagekraft gehabt hätten, liegt nach den Ergebnissen von Thomas und Bell 2003 die Begründung nahe, dass die unterschiedlich starke Korrelation der kardiometabolischen Risikofaktoren zu den transversalen Einzelschichten mit dem individuellen Körpergewicht in Zusammenhang steht.

Ein weiterer Erklärungsansatz, der bei den Männern die unterschiedlich starke Korrelation der kardiometabolischen Risikofaktoren zu den transversalen Einzelschichten begründet, kann die nur begrenzt mögliche Zunahme an VAT im Oberbauch sein. Durch die knöcherne Begrenzung des Rippenbogens wäre bei weiterer, exzessiver Fettgewebsanreicherung nur eine Volumenzunahme mit Ausdehnung auf den Bereich von L4-L5 möglich.

Einzelschicht versus Volumen zur Beurteilung des gesundheitlichen Risikos mittels MRT

Generell unterliegt die Erstellung und Verwendung von MRT-Einzelschichtaufnahmen der Annahme, dass obgleich individuelle Unterschiede im Fettanteil zu beobachten sind, die relative Fettverteilung zwischen Individuen gleich bleibt. Dies entspricht jedoch nicht den Beobachtungen der vorliegenden Arbeit. Vielmehr wird deutlich, dass geschlechtsspezifische und interindividuelle Unterschiede im VAT- und abdominal SAT-Anteil und in der Verteilung des Fettgewebes vorliegen, die bei der Erstellung und Beurteilung transversaler Einzelschichtaufnahmen zu berücksichtigen sind (**Tab.3, Abb.3a, Abb.3b**).

Für die Durchführung weiterer wissenschaftlicher Studien ist die Erstellung und Auswertung einer transversalen Einzelschichtaufnahme, vor allem unter ökonomischen Gesichtspunkten, sinnvoll. Dabei ist stets zu beachten, dass eine transversale Einzelschichtaufnahme nur ein Kompromiss zwischen Genauigkeit der Aussagekraft, Aufwand und Kosten sein kann. Von großer Bedeutung ist bei der Erstellung einer transversalen Einzelschichtaufnahme die Tatsache, dass eine VAT-Fläche unabhängig von der Wahl des Referenzpunktes eng mit den kardiometabolischen Risikofaktoren assoziiert ist. Um das Gesamtvolumen an VAT

und abdominal SAT und das damit verbundene gesundheitliche Risiko genau beurteilen zu können, bleibt die Erstellung und Auswertung mehrerer transversaler MRT-Einzelschichten vorerst das Mittel der Wahl.

Vor- und Nachteile der vorliegenden Arbeit

Ein Vorteil der vorliegenden Arbeit besteht darin, dass die Ergebnisse für einen weiten BMI-Bereich (18,3 - 37,7 kg/m²) und ein Altersspektrum von 22-78 Jahren gültig sind. Trotz der hohen Varianz hinsichtlich der relativ geringen Teilnehmerzahl von 100 Probanden sind die Ergebnisse hoch signifikant. Damit bietet die vorliegende Arbeit einen grundlegenden Überblick, den es gilt in größer angelegten Studien genauer zu untersuchen. Ein weiterer Vorteil ist, dass MRT-Einzelschichtaufnahmen mit geringem Abstand zueinander erstellt werden konnten. Die Einzelschichtaufnahmen beziehen das gesamte Abdomen von der Unterseite des Zwerchfells bis zu den apikalen Polen der Femurköpfe ein. Die Schicht L4-L5, welche in vielen wissenschaftlichen Studien als Referenzpunkt zur Beurteilung des Fettgewebes dient, wurde getrennt analysiert und in unmittelbaren Vergleich zu anderen Einzelschichten gesetzt. Dies ermöglicht eine Einordnung der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit in den bisherigen wissenschaftlichen Kontext.

Demgegenüber steht eine relativ geringe Teilnehmerzahl von 100 Probanden. Des Weiteren beschränkte sich die Studienpopulation auf Kaukasier. Ergebnisse für Asiaten und Afroamerikaner können von den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit abweichen.

4.4 Vergleich dreier Referenzpunkte zur Messung des Taillenumfangs

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass sich die gemessenen Taillenumfänge unter dem Rippenbogen, über dem Beckenkamm und in der Mitte beider anatomischer Kennpunkte bei Frauen und Männern signifikant voneinander unterscheiden. Aus **Tab.8** geht hervor, dass bei den Männern die Taillenumfänge an allen Referenzpunkten größer sind als bei den Frauen, was die maskuline Statur widerspiegelt. Bei beiden Geschlechtern nimmt der Taillenumfang vom unteren Rippenbogen bis zum Beckenkamm zu, wobei die Taillenumfänge bei den Frauen an

den drei Referenzpunkten jeweils stärker voneinander divergieren als bei den Männern. Bei den Männern variieren die Taillenumfänge unabhängig vom Referenzpunkt nur gering (**Tab.8**).

Zwischen den einzelnen Taillenumfängen liegen bei den Frauen im Mittel 4-5cm, bei den Männern im Mittel 1-2cm (**Tab.8**). Zu einem vergleichbaren Ergebnis kamen Wang et al. 2003, die einen Vergleich von Taillenumfängen gemessen an vier verschiedenen Referenzpunkten bei 62 Frauen und 49 Männern durchführten. Die Autoren fanden heraus, dass der Unterschied zwischen dem engsten WC und dem WC über dem Beckenkamm bei Männern etwa 1cm, bei Frauen 5cm beträgt. Abgesehen vom engsten WC, fanden Wang et al. 2003 heraus, nahmen bei den Frauen die Taillenumfänge vom Unterrand des Rippenbogens zum Beckenkamm zu. Diese Erkenntnisse stimmen mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit überein (**Tab.8**). Des Weiteren fanden Wang et al. 2003 heraus, dass sich die Taillenumfänge unterhalb des Rippenbogens, über dem Beckenkamm und in der Mitte beider anatomischer Kennpunkte bei den Männern nicht voneinander unterscheiden. In der vorliegenden Arbeit konnte in Übereinstimmung damit gezeigt werden, dass die Taillenumfänge bei den Männern unabhängig vom Referenzpunkt nur gering variieren (**Tab.8**).

Beziehungen zu den Volumina von viszeralem und abdominal subkutanem Fettgewebe

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass bei den Männern alle drei Taillenumfänge vergleichbar eng zum VAT- bzw. abdominal SAT-Volumen korrelieren (**Tab.9**). Auch bei den Frauen sind alle drei Taillenumfänge eng mit dem abdominal SAT-Volumen assoziiert. Bei den Frauen ist dagegen die Messung direkt unterhalb des Rippenbogens am engsten mit dem VAT-Volumen assoziiert (**Tab.9**). Die Taillenumfänge über dem Beckenkamm und in der Mitte zwischen Rippenbogen und Beckenkamm sind bei den Frauen weniger eng zum Gesamtvolumen an VAT assoziiert als der WC direkt unterhalb des Rippenbogens (**Tab.9**). Zu einem vergleichbaren Ergebnis kamen Bosy-Westphal et al. 2010. Die Autoren untersuchten 294 Erwachsene und 234 Kinder und Jugendliche im Alter von 6 - 78 Jahren und fanden in ihrer Studie heraus, dass sowohl bei Männern als auch bei Kindern und Jugendlichen die Taillenumfänge unter dem Rippenbogen, über dem

Beckenkamm und in der Mitte dieser beiden Referenzpunkte vergleichbar eng zum VAT- und abdominal SAT-Volumen assoziiert sind. Bei den Frauen hingegen weist der Taillenumfang unter dem Rippenbogen die engste Beziehung zum VAT auf. Der Taillenumfang über dem Beckenkamm ist nach Bony-Westphal et al. 2010 bei den Frauen hingegen am wenigsten mit dem VAT-Volumen assoziiert. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit den Ergebnissen dieser Arbeit (**Tab.9**). Darüber hinaus konnten Bony-Westphal et al. 2010 in ihrer Studie zeigen, dass bei den Frauen ein diätetisch induzierter Gewichtsverlust mit einer Reduzierung des Taillenumfangs unter dem Rippenbogen und einem signifikanten VAT-Verlust in diesem Bereich einhergeht.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit fanden Wang et al. 2003 heraus, dass der WC direkt über dem Beckenkamm auf Höhe L4-L5 bei beiden Geschlechtern am engsten mit dem Gesamtkörperfett korreliert. Die Autoren schlussfolgerten, dass der WC über dem Beckenkamm die engste Korrelation zum viszeralen Fettgewebsvolumen aufweist, weil er der Schicht L4-L5 am nächsten ist. Wang et al. 2003 trennen ihre Ergebnisse hingegen nicht nach Geschlechtern, wodurch kein direkter Vergleich mit der vorliegenden Arbeit möglich ist. Außerdem beziehen sich die Beobachtungen von Wang et al. 2003 auf die Beziehungen der Taillenumfänge zum Gesamtkörperfett. In der vorliegenden Arbeit konnten die Beziehungen der Taillenumfänge zu den Volumina an VAT und abdominal SAT getrennt beurteilt werden. Eine weitere Erklärung für die abweichenden Ergebnisse dieser Arbeit und der Studie von Wang et al. 2003 kann die technische Schwierigkeit der Taillenumfangsmessung auf Höhe L4-L5 sein. In dieser Studie wurde der WC unterhalb der 10. Rippe an der mittleren Axillarlinie abgelesen. Dieser Punkt ist sehr genau definiert und die Durchführung der Messung problemlos möglich. Der WC direkt über dem Beckenkamm ist hingegen am schwierigsten zu bestimmen, weil die Körperform oberhalb des Beckenkamms in der Regel in starkem Kontrast zum knöchernen Becken steht.

Beziehungen zum kardiometabolischen Risiko

Aus **Tab.10** geht hervor, dass bei den Frauen der Taillenumfang direkt unterhalb des Rippenbogens am engsten mit den kardiometabolischen Risikofaktoren assoziiert ist. Er korreliert eng mit dem HDL-Cholesterin- und dem Insulinspiegel, dem HOMA-Index und dem diastolischen Blutdruck. Der Taillenumfang über dem Beckenkamm

ist bei den Frauen mit dem HDL-Cholesterin- und dem Insulinspiegel sowie dem HOMA-Index assoziiert und der Taillenumfang in der Mitte zwischen Rippenbogen und Crista iliaca korreliert lediglich mit dem HOMA-Index und dem HDL-Cholesterin (**Tab.10**). Zu einem vergleichbaren Ergebnis kamen Bosy-Westphal et al. 2010, die in ihrer Studie nachweisen konnten, dass bei 177 untersuchten Frauen der Taillenumfang direkt unterhalb des Rippenbogens am engsten mit den kardiometabolischen Risikofaktoren assoziiert ist. Diese Beobachtungen sind von großer klinischer Bedeutung, weil sich daraus ableiten lässt, dass die Taillenumfangmessung und die damit assoziierte Beurteilung des gesundheitlichen Risikos bei den Frauen je nach Referenzpunkt stark variiert.

Bei den Männern sind alle drei Taillenumfänge vergleichbar eng zu den kardiometabolischen Risikofaktoren assoziiert. Triglyceride, systolischer und diastolischer Blutdruck korrelieren am engsten zum Taillenumfang unterhalb des Rippenbogens. Insulinspiegel, HOMA-Index und diastolischer Blutdruck korrelieren eng zum Taillenumfang über dem Beckenkamm. HDL-Cholesterin und Glukosespiegel sind am engsten mit dem Taillenumfang in der Mitte der beiden Kennpunkte assoziiert (**Tab.10**). Gleichfalls konnten Bosy-Westphal et al. 2010 in ihrer Studie zeigen, dass bei den 117 untersuchten Männern die unterschiedlichen Taillenumfänge alle vergleichbar eng zu den kardiometabolischen Risikofaktoren assoziiert sind. Daraus lässt sich für die Männer ableiten, dass der Taillenumfang an jedem der drei Referenzpunkte eine vergleichbar hohe Aussagekraft im Hinblick auf das gesundheitliche Risiko hat.

Beziehung zwischen Taillenumfang und kardiometabolischem Risiko unter Berücksichtigung definierter Cutoffs der IDF und der WHO

Unter Berücksichtigung der *Cutoffs* der IDF für einen erhöhten Taillenumfang werden weitaus mehr Probanden als kardiometabolisch gefährdet beurteilt als nach den *Cutoffs* der WHO. Dies wird besonders bei den untersuchten Frauen deutlich. Im Vergleich zur WHO weisen nach den *Cutoffs* der IDF fast doppelt so viele Probandinnen einen erhöhten Taillenumfang unter dem Rippenbogen und zwischen Rippenbogen und Beckenkamm auf (**Tab.11**). Zwar werden nach den *Cutoffs* der IDF im Vergleich zu den *Cutoffs* der WHO auch mehr Männer als kardiometabolisch

gefährdet klassifiziert, allerdings weichen die Prävalenzen erhöhter Taillenumfänge je nach Fachgesellschaft bei den Männern weniger stark voneinander ab (**Tab.11**).

Nach den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit ist der Taillenumfang unterhalb des Rippenbogens besonders bei den Frauen enger zum VAT-Volumen und den kardiometabolischen Risikofaktoren assoziiert als der Taillenumfang in der Mitte zwischen Rippenbogen und Beckenkamm, den die IDF und die WHO zur Bestimmung des Taillenumfangs empfehlen (**Tab.9, Tab.10**). Den von der IDF und der WHO empfohlenen Referenzpunkt zur Taillenumfangmessung ausfindig zu machen ist zudem schwierig und aufwändig, weil dazu die genauen Identifikationen von Rippenbogenunterrand und Beckenkamm notwendig sind. Des Weiteren muss der Abstand dieser Referenzpunkte genau gemessen und der Mittelpunkt zwischen beiden festgelegt werden. Einfacher und präziser ist die Bestimmung des Taillenumfangs am Rippenbogenunterrand. Allerdings können die *Cutoffs* der IDF und der WHO nicht einfach auf diesen Referenzpunkt übertragen werden. Es ist wichtig bei Anwendung definierter *Cutoffs* den Referenzpunkt zu wählen, der von der jeweiligen Fachgesellschaft für die Messung zugrunde gelegt wird. Solange für den Taillenumfang unterhalb des Rippenbogens keine spezifischen *Cutoffs* festgelegt sind, kann nicht von den vorhandenen *Cutoffs* der IDF und der WHO auf ein erhöhtes gesundheitliches Risiko hinsichtlich dieses Referenzpunktes geschlossen werden. Ein einfaches Abziehen oder Addieren von Maßeinheiten je nach Referenzpunkt würde der Bestimmung der Prävalenz erhöhter Taillenumfänge nicht gerecht, weil die Fettgewebsverteilung sowohl mit dem Alter als auch mit der Fettmasse variiert (**Tab.4, Abb.4 - 11**).

Des Weiteren basieren die bisherigen *Cutoffs* der verschiedenen Fachgesellschaften auf den *Cutoffs* des BMI (Lean et al. 1995). Der BMI ist jedoch nur ein ungenaues Maß zur Bestimmung des zentralen Fettgewebes und damit für die Beurteilung des gesundheitlichen Risikos weniger geeignet als der Taillenumfang, der mit dem VAT eng assoziiert ist. Vielmehr sollten die *Cutoffs* sich an der Verteilung des VAT orientieren, welches für die gesundheitliche Gefährdung verantwortlich ist. Vor diesem Hintergrund ist es für die Zukunft unerlässlich, anhand einer großen Probandenzahl *Cutoffs* für den Taillenumfang unter dem Rippenbogen zu generieren, der bei beiden Geschlechtern eng mit dem VAT und dem gesundheitlichen Risiko verbunden ist.

5 Zusammenfassung

Die Erstellung transversaler MRT-Einzelschichtaufnahmen und die Messung des Taillenumfangs sind häufig verwendete Methoden zur Beurteilung des gesundheitlichen Risikos durch abdominale Adipositas. Unklar ist bislang in der wissenschaftlichen Literatur, an welchem Referenzpunkt eine einzelne Messung vorgenommen werden soll, um das gesundheitliche Risiko am genauesten zu bestimmen.

In dieser Arbeit wurden bei 100 erwachsenen Frauen und Männern transversale abdominale MRT-Bilder ausgewertet und untersucht, welche transversale MRT-Einzelschichtaufnahme am engsten zum VAT- bzw. abdominal SAT-Volumen und den kardiometabolischen Risikoparametern assoziiert ist. Des Weiteren wurden die drei in wissenschaftlichen Studien am häufigsten verwendeten Referenzpunkte zur Taillenumfangmessung hinsichtlich ihrer Beziehung zum viszeralen Fettgewebsvolumen und den kardiometabolischen Risikoparametern untersucht.

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass bei den Frauen eine distal von L4-L5 gelegene Einzelschicht eng zum VAT-Volumen und den kardiometabolischen Risikofaktoren assoziiert ist. Bei den Männern spiegelt eine proximal von L4-L5 gelegene Einzelschicht am besten das VAT-Volumen wider. Hingegen sind die kardiometabolischen Risikofaktoren bei den Männern keiner einzelnen transversalen Schicht eindeutig zuzuordnen.

Besonders aus ökonomischer Sicht ist die Verwendung einer einzelnen transversalen Einzelschichtaufnahme zur Beurteilung des gesundheitlichen Risikos zu empfehlen, weil sie unabhängig von der Wahl des Referenzpunktes eng mit den kardiometabolischen Risikofaktoren assoziiert ist. Eine individuelle Aussage hinsichtlich des viszeralen Fettgewebsvolumens und des damit verbundenen gesundheitlichen Risikos ist hingegen nur durch die Erstellung und Auswertung mehrerer transversaler Einzelschichtaufnahmen möglich.

Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass bei beiden Geschlechtern der Taillenumfang unter dem Rippenbogen eng zum VAT-Volumen und den kardiometabolischen Risikoparametern assoziiert ist. Bevor in der klinischen Praxis anhand dieses Taillenumfangs das gesundheitliche Risiko beurteilt werden kann, aus dem sich ggf. die Indikation einer medizinischen Behandlung ergibt, ist es unerlässlich, am VAT orientierte *Cutoffs* besonders für diesen Referenzpunkt zu generieren.

6 Literaturverzeichnis

Abate N, Garg A, Coleman R, Grundy SM, Peshock RM. Prediction of total subcutaneous, intraperitoneal, and retroperitoneal adipose tissue masses in men by a single axial magnetic resonance imaging slice. *Am J Clin Nutr* 65: 403-408, 1997.

Alberti KG, Zimmet P, Shaw J. IDF Epidemiology Task Force Consensus Group. The metabolic syndrome—a new worldwide definition. *Lancet* 366: 1059-1062, 2005.

Bethesda MD. The practical guide identification, evaluation, and treatment of overweight and obesity in adults. National Institute of Health, NIH publication no. 00-4084, 2000.

Bosy-Westphal A, Booke CA, Blöcker T, Kossel E, Goele K, Later W, Hitze B, Heller M, Glüer CC, Müller MJ. Measurement Site for Waist Circumference Affects Its Accuracy As an Index of Visceral and Abdominal Subcutaneous Fat in a Caucasian Population. *The Journal of Nutrition* 140:1–8, 2010.

Bruun JM, Lihn AS, Pedersen SB, and Richelsen B. Monocyte Chemoattractant Protein-1 Release Is Higher in Visceral than Subcutaneous Human Adipose Tissue (AT): Implication of Macrophages Resident in the AT. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 90(4):2282–2289, 2005.

Carr DB, Utzschneider KM, Hull RL, Kodama K, Retzlaff BM, Brunzell JD, Shofer JB, Fish BE, Knopp RH, Kahn SE. Intra-Abdominal Fat Is a Major Determinant of the National Cholesterol Education Program Adult Treatment Panel III Criteria for the Metabolic Syndrome. *Diabetes* 53: 2087-2094, 2004.

Després JP, Lemieux I. Abdominal obesity and metabolic syndrome. *Nature* 444(7121):881-7, 2006.

DuBois D, DuBois EF. A formula to estimate the approximate surface area if weight and height be known. *Arch Intern Med* 17; 863-871, 1916.

Executive Summary of the Third Report of the National Cholesterol Education Program (NCEP) Expert Panel on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults (Adult Treatment Panel III). *JAMA* 285(19):2486–2497, 2001.

Faria AN, Ribeiro Filho FF, Gouveia Ferreira SR, Zanella MT. Impact of visceral fat on blood pressure and insulin sensitivity in hypertensive obese women. *Obes Res* 10:1203-1206, 2002.

Guthrie JR, Dennerstein L, Taffe JR, Ebeling PR, Randolph JF, Burger HG, Wark JD. Central abdominal fat and endogenous hormones during the menopausal transition. *Fertil Steril*. 79:1335–1340, 2003.

Han TS, Kelly IE, Walsh K, Greene RM, Lean ME. Relationship between volumes and areas from single transverse scans of intra-abdominal fat measured by magnetic resonance imaging. *Int J Obes Relat Metab Disord* 21: 1161-6, 1997.

International Diabetes Federation. The IDF consensus worldwide definition of the metabolic syndrome, 2006.

URL: http://www.idf.org/webdata/docs/IDF_Meta_def_final.pdf (25.04.2008).

Klein S, Allison DB, Heymsfield SB, Kelley DE, Leibel RL, Nonas C, Kahn R. Waist circumference and cardiometabolic risk: a consensus statement from Shaping America's Health: Association for Weight Management and Obesity Prevention; NAASO, The Obesity Society; the American Society for Nutrition; and the American Diabetes Association. *Am J Clin Nutr* 85: 1197-202, 2007.

Kanaley JA, Sames C, Swisher L, Swick AG, Ploutz-Snyder LL, Steppan CM, Sagendorf KS, Feiglin D, Jaynes EB, Meyer RA, Weinstock RS. Abdominal fat distribution in pre- and postmenopausal women: The impact of physical activity, age, and menopausal status. *Metabolism* 50:976-982, 2001.

Kuk JL, Lee SJ, Heymsfield SB, Ross R. Waist circumference and abdominal adipose tissue distribution: influence of age and sex. *Am J Clin Nutr* 81: 1330-4, 2005.

Kuk JL, Church TS, Blair SN, Ross R. Does Measurement Site for Visceral and Abdominal Subcutaneous Adipose Tissue Alter Associations With the Metabolic Syndrome? *Diabetes Care* 29: 679-684, 2006.

Kvist H, Chowdhury B, Grangard U, Tylén U, Sjostrom L. Total and visceral adipose-tissue volumes derived from measurements with computed tomography in adult men and women: predictive equations. *Am J Clin Nutr* 48: 1351-1361, 1988.

Lean MEJ, Han TS, Morrison CE. Waist circumference indicates the need for weight management. *BMJ* 311: 158-161, 1995.

Matthews DR, Hosker JP, Rudenski AS, Naylor BA, Treacher DF, Turner RC. Homeostasis model assessment: insulin resistance and beta-cell function from fasting plasma glucose and insulin concentrations in man. *Diabetologia* 28: 412-419, 1985.

Meng XL, Rosenthal R, Rubin DB. Comparing correlated correlation coefficients. *Psychological Bulletin*, 111, 172-175, 1992.

URL: <http://userpage.fu-berlin.de/~ahahn/sigcorr.html> (05.06.2009).

National Institute for Health and Clinical Excellence. Obesity Guidance on the prevention, identification, assessment and management of overweight and obesity in adults and children.

URL: <http://www.nice.org.uk/guidance/CG43/?c=91500> (06.02.2009).

Nielsen S, Guo Z, Johnson CM, Hensrud DD, Jensen MD. Splanchnic lipolysis in human obesity. *J Clin Invest* 113: 1582-1588, 2004.

Paré A, Dumont M, Lemieux I, Brochu M, Alméras N, Lemieux S, Prud'homme D, Després JP. Is the relationship between Adipose Tissue and Waist Girth Altered by Weight Loss in Obese Men? *Obesity Research* Vol.9 No.9., 2001.

Physical status. The use and interpretation of anthropometry. Report of a WHO Expert Committee. World Health Organ Tech Rep Ser 854: 1-452, 1995.

Pouliot MC, Després JP, Lemieux S, Moorjani S, Bouchard C, Tremblay A, Nadeau A, Lupien PJ. Waist circumference and abdominal sagittal diameter: best simple anthropometric indexes of abdominal visceral adipose tissue accumulation and related cardiovascular risk in men and women. *Am J Cardiol* 73: 460-468, 1994.

Rebuffe-Scrive M, Anderson B, Olbe L, Bjorntorp P. Metabolism of adipose tissue in intraabdominal depots in severely obese men and women. *Metabolism* 39: 1021-1025, 1990.

Ridker PM, Cushman M, Stampfer MJ, Tracy RP, Hennekens CH. Inflammation, aspirin, and the risk of cardiovascular disease in apparently healthy men. *N Engl J Med*. 3;336(14):973-9, 1997.

Rissanen J, Hudson R, Ross R. Visceral adiposity, androgens, and plasma lipids in obese men. *Metabolism* 43: 1318-1323, 1994.

Ross R, Leger L, Morris D, de Guise J, Guardo R. Quantification of adipose tissue by MRI : relationship with anthropometric variables. *J Appl Physiol* 72: 787-795, 1992.

Schreiner PJ, Terry JG, Evans GW, Hinson WH, Crouse JR III, Heiss G. Sex-specific associations of magnetic resonance imaging-derived intra-abdominal and subcutaneous fat areas with conventional anthropometric indices. The Atherosclerosis Risk in Communities Study. *Am J Epidemiol* 144: 335-345, 1996.

Shen W, Punyanitya M, Wang ZM, Gallagher D, St-Onge MP, Albu J, Heymsfield SB, Heshka S. Total body skeletal muscle and adipose tissue volumes: estimation from a single abdominal cross-sectional image. *J Appl Physiol* 97: 2333-2338, 2004.

Shen,W, Punyanitya M, Chen J, Gallagher D, Albu J, Pi-Sunyer X, Lewis, CE, Grunfeld C, Heymsfield SB, Heshka S. Visceral adipose tissue: relationships between single slice areas at different locations and obesity-related health risks. *International Journal of Obesity* 31: 763-769, 2007.

Shen W, Punyanitya M, Silva AM, Chen J, Gallagher D; Sardinha LB, Allison DB, Heymsfield SB. Sexual dimorphism of adipose tissue distribution across the lifespan: a cross-sectional whole-body magnetic resonance imaging study. *Nutr Metab (Lond)* 6: 17, 2009.

Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. In: *Techniques for measuring body composition*, edited by Brozek J and Henschel A. Washington, DC: National Academy of Sciences 223-244, 1961.

Sudi K M, Gallistl S, Tröbinger M, Weinhandl G, Aigner R, Payerl D, Tafeit E, Möller R and Borkenstein M H. Subcutaneous adipose tissue layers as a stable correlate of leptin in response to short term energy restriction in obese girls. *International Journal of Obesity* 25, Suppl 1, S43-S45, 2001.

Sumino H, Ichikawa S, Yoshida A, Murakami M, Kanda T, Mizunuma H, Sakamaki T, Kurabayashi M. Effects of hormone replacement therapy on weight, abdominal fat distribution, and lipid levels in Japanese postmenopausal women. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 27:1044–1051, 2003.

Tchernof A, Desmeules A, Richard C, et al. Ovarian hormone status and abdominal visceral adipose tissue metabolism. *J Clin Endocrinol Metab* 89: 3425-30, 2004.

Thomas EL, Bell JD. Influence of undersampling on magnetic resonance imaging measurements of intra-abdominal adipose tissue. *International Journal of Obesity* 27: 211-218, 2003.

Toth MJ, Tchernof A, Sites CK, Poehlman ET. Effect of menopausal status on body composition and abdominal fat distribution. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 24:226–231, 2000.

Wajchenberg B. Subcutaneous and Visceral Adipose Tissue: Their Relation to the Metabolic Syndrome. *Endocrine Reviews* 21(6): 697–738, 2000.

Wang J, Thornton JC, Bari S, et al. Comparisons of waist circumferences measured at 4 sites. *Am J Clin Nutr* 77: 379-84, 2003.

Zamboni M, Armellini F, Milani MP, De Marchi M, Todesco T, Robbi R, Bergamo-Andreis IA, Bosello O. Body fat distribution in pre- and post-menopausal women: metabolic and anthropometric variables and their inter-relationships. *Int J Obes Relat Metab Disord.*16:495–504, 1992.

7 Anhang

7.1 Algorithmus zur Vereinheitlichung unterschiedlicher Rumpflängen (Tab.2)

Proband 1 (17), 1,21	1	2	3	4	5	6	7	8
SAT								
Fläche der Einzelschicht (cm ²)	146,1	166,3	170,9	159,2	155,7	154,1	65,08	80,3
reduziert auf 14 Einzelschichten (cm ²)	181,02	203,16	199,42	189,69	182,27	82,70	105,30	129,94
Algorithmus	1,0+0,21	0,79+0,42	0,58+0,63	0,37+0,84	0,16+1,0+0,05	0,95+0,26	0,74+0,47	
<i>(Fortsetzung)</i>								
9	10	11	12	13	14	15	16	Summe
97,62	115	145,6	54,21	54,78	51,92	51,77	55,05	1775,89
166,38	75,70	65,40	62,75	65,04	63,99			1772,75
0,53+0,68	0,32+0,89	0,11+1,0+0,10		0,90+0,31	0,69+0,52	0,48+0,73	0,27+0,94	0,06

SAT, *subcutaneous adipose tissue*; 1,0 = 100%; 1-17 = Schichten 1-17

7.2 Ethikkommission

MEDIZINISCHE FAKULTÄT
DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL

ETHIK-KOMMISSION



Universitäts-Kinderklinik - Schwanenweg 20 - 24105 Kiel

Herrn
Prof. Dr. med. M. J. Müller
Institut für Humanernährung
und Lebensmittelkunde
Düsternbrooker Weg 17

24105 Kiel

Schwanenweg 20
D-24105 Kiel
Telefon 04 31 / 597-18 09
Telefax 04 31 / 597-18 31

Datum:

28.1.2004

AZ: A 111/96

Studienplan:

Variabilität des Energieverbrauchs: Zur Bedeutung der Körperzusammensetzung

Studienprotokoll, Probandeninformation und Einverständniserklärung

Datum des

Erweiterungs-Antrages: 15.10.2003 / 15.1.2004

Sehr geehrter, lieber Herr Kollege Müller,

vielen Dank für Ihre obengenannten Schreiben. Nach Durchsicht der Unterlagen durch mich als Vorsitzenden der Ethik-Kommission und durch das Mitglied unserer Ethik-Kommission Prof. Dr. Dr. Kimmig als Strahlentherapeut bestehen gegen die Erweiterung der Studie und die Durchführung einer Röntgenabsorptionsmessung (DEXA) keine berufsethischen und berufsrechtlichen Bedenken. Die für die regionale Dual Energy x-ray Absorptiometrie (DEXA) benötigte Strahlendosis ist minimal und liegt unter der für eine Röntgen-Thorax-Aufnahme.

Die im folgenden aufgeführten Hinweise sollten jedoch beachtet werden:

1. Die Probandeninformation und Einverständniserklärung muß mit dem Titel der Untersuchung versehen werden.
2. Die Studie ist genehmigungspflichtig durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS).

Ferner bitten wir Sie, unsere Kommission über wesentliche Änderungen des Protokolls

zu unterrichten und das Ende der Studie mitzuteilen, einschließlich eines kurzen abschließenden Berichts mit einem Hinweis, ob im Laufe der Studie ethische oder juristische Probleme aufgetreten sind.

Ich wünsche Ihnen für die Bearbeitung der Studie viel Erfolg.

Mit freundlichen kollegialen Grüßen

J. Schaub

Prof. Dr. med. Jürgen Schaub
Vorsitzender der Ethik-Kommission
der Medizinischen Fakultät der CAU zu Kiel

7.3 Aushang zur Probandenrekrutierung



Wir suchen **Teilnehmer/innen für unsere Studie** zur Körperzusammensetzung am Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde der Christian-Albrechts-Universität in Kiel.

Bestandteil der Untersuchungen sind :

- Ganzkörper - MRT (Magnet Resonanz Tomographie)
- Messung des Ruheenergieverbrauchs (indirekte Kalorimetrie)
- Knochendichtemessungen (Röntgenmethode),
- Ermittlung des Körperwassers (2 Blutabnahmen erforderlich)
- Bestimmung der Körperfettmasse (Körperdichte durch Wägung und plethysmographische Körpervolumenbestimmung)

Die Messungen finden **vormittags nüchtern** statt und dauern ca. 4h (7.30-11.30 Uhr) + evtl. 1h nachmittags bzw. Extratermin (MRT-Untersuchung)

Ausschlusskriterien für die Teilnahme sind :

- Schwangerschaft / Stillzeit,
- Alter unter 18 oder über 80 Jahre
- Rauchen
- Körpergewicht über 120kg, Körpergröße über 1,80m sowie
- die regelmäßige Einnahme von Medikamenten und
- Erkrankungen wie Diabetes, Schilddrüsenerkrankungen, koronare Herzerkrankungen, Bluthochdruck, atopische Erkrankungen (allergische Rhinitis, Asthma, Neurodermitis), floride Erkältung etc.
- Herzschrittmacher oder metallhaltige Implantate (MRT)

Als Aufwandsentschädigung erhalten Sie einen Betrag von **50,- Euro**.

Bei Interesse melden Sie sich bei:

M.Sc. W. Later Tel. : 0431-880 5689 wlater@nutrfoodsc.uni-kiel.de

M.Sc. B. Hitze Tel. : 0431-880 5689 bhitze@nutrfoodsc.uni-kiel.de

7.4 Einwilligungserklärung der Probanden



EINWILLIGUNGSERKLÄRUNG zur Studie

Validierung einer Bioelektrischen Impedanzformel zur Berechnung der Körperzusammensetzung bei gesunden Erwachsenen

Das Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel führt gemeinsam mit Prof. Dr. C.-C. Glüer (Klinik für diagnostische Radiologie, CAU Kiel) eine wissenschaftliche Untersuchung zur Validierung einer Bioelektrischen Impedanzformel zur Berechnung der Körperzusammensetzung bei gesunden Erwachsenen durch.

Hiermit erkläre ich mich bereit, an der oben genannten Studie teilzunehmen. In diesem Zusammenhang erlaube ich dem Institut, Daten zu meiner Person zu speichern und zu einem späteren Zeitpunkt als Vergleichswert zu verwenden. Das Institut verpflichtet sich, die Daten vertraulich zu behandeln und ist verpflichtet, die Vorschriften des Landesdatenschutzgesetzes zu beachten. Der Landesbeauftragte für Datenschutz ist berechtigt, die Einhaltung zu kontrollieren. Die Untersuchung und deren Auswertung ist ihm zur Kenntnis gebracht worden. Die zuständige Behörde kann Einsicht in persönliche Daten nehmen, soweit es die Teilnahme an der Studie und die dabei auftretende Strahlenexposition betrifft. Medizinische Daten sind davon nicht betroffen. Ich bin über Zweck, Ziele und Durchführung der Studie informiert und aufgeklärt worden. Darüber hinaus hatte ich Gelegenheit, Fragen zum Verständnis und zur Durchführung zu stellen. Diese Einwilligung ist freiwillig und kann von mir jederzeit widerrufen werden ohne, dass mir daraus Nachteile entstehen.

Name, Vorname.....

Adresse.....

.....

_____, den _____

Ort, Datum

Unterschrift des Probanden

Unterschrift des Aufklärenden Arztes

7.5 Einwilligungserklärung zur MRT-Untersuchung

Röntgendiagnostik	Info RD9	Klinik / Praxis:
Kernspintomographie (Magnet-Resonanz-Tomographie; MRT)		

Bitte vor dem Aufklärungsgespräch lesen und den Fragebogen ausfüllen!

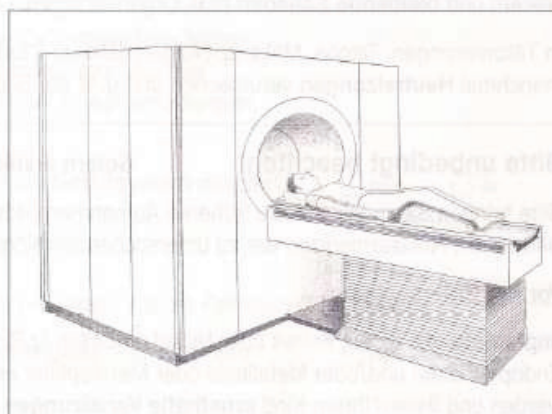
Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient, liebe Eltern,

bei der Kernspintomographie (MRT) werden mit Radiowellen und Magnetfeldern, also ohne Röntgenstrahlung, zwei- und dreidimensionale Aufnahmen von Abschnitten oder dem ganzen Körper erstellt. Insbesondere im Gehirn, an den inneren Organen des Bauches und Beckens, an der weiblichen Brust, an Muskeln, Bändern, Knorpeln, Gelenken, aber auch an Herz und Blutgefäßen sind feinste Veränderungen zu erkennen, die mit anderen Verfahren schwerer oder nur mit höherem Risiko zu erfassen sind. Bei Ihnen soll(en)

ohne Kontrastmittel mit Kontrastmittel

folgende Körperregion(en) untersucht werden:

(Organ oder Körperteil benennen)



Untersuchungsablauf

Sie werden für die Untersuchung auf einem gepolsterten Untersuchungstisch gelagert. Je nach der Körperregion, die untersucht werden soll, werden Sie teilweise oder mit dem ganzen Körper in das Magnetfeld des röhrenförmigen Untersuchungsgerätes gefahren. Dort regen kurze Radiowellenimpulse die Wasserstoffkerne im Gewebe an, elektromagnetische Signale abzugeben. Ein Computer zeichnet diese Signale auf. Er errechnet daraus Schnittbilder der untersuchten Körperregion aus verschiedenen Blickwinkeln und aus diesen Schnittbildern zwei- oder dreidimensionale Bilder, die wichtige Informationen für die Krankheitserkennung und für eine Behandlung liefern. Das Ergebnis der Untersuchung erlaubt Einblicke in Form und Funktion des jeweiligen Körperabschnitts.

Während der Untersuchung besteht direkter Sichtkontakt mit dem medizinischen Personal oder Sie werden durch Monitore vom Kontrollraum aus überwacht. Bitte ganz ruhig und entspannt liegen. Über Kopfhörer oder eine Gegensprechanlage erfahren Sie, wann Sie ein- und ausatmen sollen.

Das Schalten der Magnetspulen bei den vielen Messungen verursacht ein lautes, metallisches Klicken bzw. Klopfgeräusche. Bitte sagen Sie uns, wenn Sie besonders lärmempfindlich sind. Sie erhalten je nach untersuchter Körperregion immer, oder auf Wunsch, einen Kopfhörer oder Ohrstöpsel, um die Geräusche zu dämpfen.

Falls Sie Platzangst haben, bekommen Sie auf Wunsch ein Beruhigungsmittel. Bei Säuglingen wird die Untersuchung nach dem Trinken durchgeführt, ältere Kinder können ein leichtes Beruhigungsmittel erhalten, um ihnen die psychische Belastung zu ersparen und unerwünschte Bewegungen zu vermeiden.

Um ein noch aussagekräftigeres Bild, und dadurch Antworten auf gezielte medizinische Fragen zu erhalten und Funktionsstörungen erkennen zu können, ist es häufig erforderlich, dass Sie ein flüssiges, nicht iodhaltiges



DIOMed-Aufklärungssystem. – 05/04 – Herausgeber: Prof. W. Weibauer, Prof. K. Ulsenheimer (Medizinrecht).

Autoren: PD Dr. Dr. R. Loose, Prof. E. Zeitler, Prof. W. Weibauer. Illustration: Atelier Gluska.

Copyright 2004 by DIOMed Verlage GmbH - An der Lohwiese 38 - DE-97500 Ebelsbach - Telefon (0 95 22) 94 35-0 - Telefax (0 95 22) 94 35 35.

www.diomed.de

Vervielfältigungen jeglicher Art, auch Fotokopieren, verboten.

Bestell-Nr. 05/009

Dokumentation

Bitte erst beim Aufklärungsgespräch die zutreffenden Kästchen ankreuzen, Textstellen unterstreichen oder an den vorgesehenen Stellen ergänzen und den Dokumentationsteil unterschreiben.

Aufklärungsgespräch

- Den **Aufklärungsbogen** habe ich gelesen und verstanden. Ich konnte im Aufklärungsgespräch alle mich interessierenden Fragen stellen. Sie wurden vollständig und verständlich beantwortet.
Die Fragen zur **Krankenvorgeschichte (Anamnese)** habe ich nach bestem Wissen beantwortet.
- Den **abgetrennten Info-Teil** bzw. ein **Zweitstück des Bogens** habe ich zum Mitnehmen und Aufbewahren erhalten. Die **Verhaltenshinweise** werde ich beachten.

Vermerke der Ärztin / des Arztes _____ zum **Aufklärungsgespräch**:
Name bitte eintragen

Erörtert wurden u.a.: Wahl des Verfahrens, Vor- und Nachteile gegenüber anderen Methoden, mögliche Komplikationen, risikoe erhöhende Besonderheiten, Verhaltenshinweise sowie:

Bitte Änderungen des Info-Teils hier vermerken, bevor er abgetrennt und dem Patienten mitgegeben wird:

z.B.: Seite 1 Absatz... gestrichen, Seite 2 Absatz... ergänzt.

Vorgesehener **Untersuchungstermin** (Datum): _____

Einwilligung

Ich habe mir meine Entscheidung gründlich überlegt, ich benötige keine weitere Überlegungsfrist.

Ich willige ein in die Kernspintomographie von Ganzkörper

(Organ oder Körperregion bitte bezeichnen)

- ohne Kontrastmittel**
- mit Kontrastmittel**

Falls Sie bestimmte einzelne Maßnahmen ablehnen, bitte bezeichnen:

Nur für den Fall der Ablehnung der Untersuchung:

- Ich **willige** in die Kernspintomographie **nicht ein**.
Ich wurde darüber aufgeklärt, dass sich dadurch Diagnose und Behandlung einer etwaigen Erkrankung erheblich verzögern und erschweren können.

Ort, Datum, Uhrzeit

Patentin / Patient bzw. Betreuer / Bevollmächtigter /
Sorgeberechtigte

Ärztin / Arzt

* Unterschreibt ein Elternteil allein, erklärt er mit seiner Unterschrift zugleich, dass ihm das Sorgerecht allein zusteht oder dass er im Einverständnis mit dem anderen Elternteil handelt.

7.6 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich aufrichtig bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. Manfred J. Müller bedanken, der mir das Verfassen dieser Arbeit als Direktor des Instituts für Humanernährung und Lebensmittelkunde an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel erst ermöglicht hat. Mit seiner fachlichen Kompetenz, seinen interessanten Denkanstößen und seiner Diskussionsbereitschaft hat er einen wesentlichen Beitrag zum erfolgreichen Abschluss meiner Promotion beigetragen.

Ganz besonders möchte ich mich bei meiner Betreuerin Frau Dr. Anja Bosy-Westphal bedanken, die mir mit ihrem fundierten Fachwissen, ihrer konstruktiven Kritik und ihren wertvollen Ratschlägen immer tatkräftig und hilfsbereit zur Seite stand. Vielen Dank, Anja, für deinen fachlichen und persönlichen Beistand und für dein stets offenes Ohr. Es ist vollbracht!

Bei Herrn Prof. Dr. Martin Heller, Direktor der Klinik für diagnostische Radiologie des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein, bedanke ich mich für die Möglichkeit der Durchführung der MRT-Untersuchungen, ohne die diese Arbeit nicht hätte entstehen können.

Bedanken möchte ich mich auch bei Frau Dr. Wiebke Later, die mich mit dem Bearbeiten von MRT-Bildern vertraut machte und mich in die dafür nötige Software einführte.

Allen Probanden/innen danke ich für ihr Interesse und ihre Bereitschaft an dieser Studie teilzunehmen. Sie alle haben grundlegend zur Entstehung dieser Promotion beigetragen.

Besonders herzlich möchte ich mich bei meiner Familie, meinen Eltern Ernst und Ingrid Booke und meinem Bruder Lars Henning, bedanken, die immer und uneingeschränkt an mich glauben. Mit ihrem liebevollen und anhaltenden Rückhalt und ihren stets motivierenden Worten haben sie maßgeblich zum Gelingen dieser Promotion beigetragen. Euch ist diese Arbeit gewidmet.

Meinen engsten Freunden danke ich herzlich dafür, dass sie die Höhen und Tiefen eines Medizinstudiums und meiner Promotion mit mir geteilt haben, mir halfen in intensiven Arbeitsphasen einen freien Kopf zu bekommen und mir immer wieder vor Augen führen, was wir bereits erreicht haben und weiter erreichen können.

7.7 Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Christiane Alena Boone
Geburtsdatum	07. Juli 1983
Geburtsort	Bielefeld
Familienstand	ledig

Schulbildung

09/1994 – 06/2003	Gymnasium am Waldhof, Bielefeld
08/2000 – 02/2001	Perryton High School in Perryton, Texas, USA

Hochschulbildung

10/2003 – 12/2009	Studium der Humanmedizin an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
07/2005 – 08/2005	Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
02/2008 – 03/2008	Mount Sinai Hospital, New York City, USA
11/2006 – 12/2009	Promotion am Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Prof. Dr. med. M.J. Müller

Praktisches Jahr

08/2008 – 10/2008	Wahlfach Gynäkologie an der Stanford University School of Medicine in Stanford, California, USA
10/2008 – 12/2008	Wahlfach Gynäkologie am Universitätsspital Zürich, CH
12/2008 – 04/2009	Innere Medizin, Kreiskrankenhaus Rendsburg
04/2009 – 07/2009	Chirurgie, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel
10/2009 – 12/2009	Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
12/2009	Approbation

7.8 Eigene Publikationen

Bosy-Westphal A, Booke CA, Blöcker T, Kossel E, Goele K, Later W, Hitze B, Heller M, Glüer CC, Müller MJ. Measurement Site for Waist Circumference Affects Its Accuracy As an Index of Visceral and Abdominal Subcutaneous Fat in a Caucasian Population. *The Journal of Nutrition* 140:1–8, 2010.

Bosy-Westphal A, Müller MJ, Booke CA, Later W, Hitze B, Kossel B, Heller M, Glüer CC. Where is the best site to measure waist circumference for prediction of visceral fat mass and cardiometabolic risk. *International Journal of Body Composition Research (IJBCR)* 2: 43-92, 2008.