

Aus dem

CharitéCentrum 13 für Innere Medizin mit Gastroenterologie und Nephrologie

Medizinische Klinik mit Schwerpunkt Endokrinologie, Diabetes und Stoffwechselmedizin

Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Joachim Spranger

Habilitationsschrift

**Einsatz eines Aktivitätsmonitors zur Evaluation von Ruheenergieumsatz,
Aktivitätsthermogenese und Bewegungsverhalten bei Gewichtsregulationsstörungen**

zur Erlangung der Lehrbefähigung

für das Fach Innere Medizin

vorgelegt dem Fakultätsrat der Medizinischen Fakultät

Charité - Universitätsmedizin Berlin

von

Dr. med. Ulf Elbelt

Eingereicht: Mai 2017

Dekan: Prof. Dr. med. Axel R. Pries

1. Gutachter/in: Prof. Dr. Matthias Blüher, Leipzig

2. Gutachter/in: Prof. Dr. Jochen Seißler, München

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	3
1 Einleitung	4
2 Zusammenfassung eigener Arbeiten	10
2.1 Energieumsatz und Bewegungsverhalten bei Menschen unterschiedlicher Gewichtskategorien	12
2.2 Validierung eines Aktivitätsmonitors zur Bestimmung des Ruheenergieumsatzes bei untergewichtigen Patientinnen mit Anorexia nervosa	20
2.3 Bestimmung des Ruheenergieumsatzes mittels ambulant getragendem Aktivitätsmonitor in der frühen Schlafphase	27
2.4 Körperliche Aktivität, Depressivität und Coping-Verhalten bei höhergradig adipösen Patienten, die eine bariatrische Operation anstreben	35
2.5 Der bewegungsabhängige Energieumsatz wird von höhergradig adipösen Patienten mittelfristig nicht zum Erzielen einer eigenständigen Gewichtsabnahme gesteigert	45
3 Diskussion	67
4 Zusammenfassung	80
5 Literaturverzeichnis	83
6 Danksagung	94
7 Eidesstattliche Erklärung	95

Abkürzungsverzeichnis

AN	Anorexia nervosa
AT	activity thermogenesis, aktivitätsbedingte Thermogenese
BMI	body mass index, Körpermasseindex
CPAP	continuous positive airway pressure
CRH	Corticotropin-releasing Hormon
d	Tag
EAT	exercise-related activity thermogenesis, Energieumsatz durch sportliche/sportähnliche Aktivität
ep	early phase, erste ununterbrochene Schlafphase nach dem Einschlafen
EWL	excess weight loss, Übergewichtsverlust
GEDA	Studie „Gesundheit in Deutschland aktuell“
IC	indirect calorimetry, indirekte Kalorimetrie
kcal	Kilokalorie
kg	Kilogramm
lp	late phase, letzte ununterbrochene Schlafphase vor dem Aufwachen
MET	metabolic equivalent, metabolisches Äquivalent
NEAT	non-exercise activity thermogenesis, Energieumsatz durch Alltags-/Spontanaktivität
PAL	physical activity level, körperliches Aktivitätsniveau
REE	resting energy expenditure, Ruheenergieumsatz
SEE	sleeping energy expenditure, Energieumsatz im Schlaf
SPA	spontaneous physical activity, Alltags-/Spontanaktivität
SWA	SenseWear®-Armband
TEE	total energy expenditure, Gesamtenergieumsatz
TEF	thermic effect of food, nahrungsinduzierte Thermogenese
WHO	World Health Organisation, Weltgesundheitsorganisation

1. Einleitung

Eine gestörte Energiebilanz durch ein Ungleichgewicht von Energiezufuhr und Energieumsatz kann sowohl mit einem gesteigerten als auch mit einem reduzierten Körpergewicht und Körperfettanteil einhergehen. Zur Klassifizierung der gestörten Körpergewichtsregulation Erwachsener wird gemäß den Vorgaben der Weltgesundheitsorganisation (World Health Organisation, WHO) der Körpermasseindex (body mass index, BMI) herangezogen (1). Ab einem BMI von $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ liegt demnach eine Adipositas vor, bei einem BMI von 25,0 bis $29,9 \text{ kg/m}^2$ Übergewicht. Ein BMI $< 18,5 \text{ kg/m}^2$ zeigt demgegenüber das Vorliegen von Untergewicht an. Derzeit ist schätzungsweise ein Drittel der Weltbevölkerung (2,1 Milliarden) übergewichtig oder adipös (2; 3). Gemäß den Selbstangaben der repräsentativ befragten deutschsprachigen erwachsenen Wohnbevölkerung im Rahmen der Studie „Gesundheit in Deutschland aktuell 2012“ (GEDA 2012) des Robert Koch-Instituts weisen 60 % der Männer und 46 % der Frauen einen BMI $\geq 25 \text{ kg/m}^2$ auf, 16,7 % der Männer und 16,2 % der Frauen leiden an einer Adipositas (4). Aufgrund der Selbstangabe von Körpergewicht und Körpergröße bei dieser Erhebung ist jedoch eher von einer Unterschätzung des ermittelten BMI auszugehen (5; 6). Weitere 2,8 % der Frauen und 0,5 % der Männer sind untergewichtig. Bei Frauen und auch bei Männern nimmt die Prävalenz von Übergewicht und Adipositas mit ansteigendem Lebensalter zu, bei Männern fällt sie dann jedoch ab dem 65. Lebensjahr wieder geringfügig ab. Der üblicherweise auftretende Gewichtsanstieg im Erwachsenenalter (7) scheint mit einer Veränderung des Sollwerts der Körpergewichtsregulation einherzugehen, die eine Gewichtsabnahme im weiteren Verlauf deutlich erschwert (8). Die Prävalenz des Untergewichts hingegen fällt mit ansteigendem Lebensalter insbesondere bei Frauen deutlich ab, bei Männern wird ab dem 30. Lebensjahr ein Plateau erreicht (4).

Sowohl Menschen mit Adipositas als auch mit Untergewicht weisen eine erhöhte Morbidität und Mortalität auf (9-11). Ein erhöhter BMI lag 2015 nach arterieller Hypertonie, Nikotinabusus, diabetischer Stoffwechsellage auf Rang 4 der Gewichtung globaler Risikofaktoren für vorzeitigen Tod oder Lebensjahre mit schwerer körperlicher Einschränkung mit einem erheblichen Anstieg von zuvor Rang 13 im Jahr 1990 (12). Zu den Adipositas-assoziierten Erkrankungen (13) zählt insbesondere das metabolische Syndrom (14) mit gestörter Glukosetoleranz, arterieller Hypertonie und Dyslipidämie. Weiterhin werden Lebererkrankungen (Leberzirrhose und hepatozelluläres Karzinom in Folge einer

nichtalkoholischen Steatosis hepatis), schlafbezogene Atmungsstörungen wie Schlafapnoesyndrom und Obesitas-Hypoventilations-Syndrom (15), degenerative Gelenkerkrankungen (v.a. Gonarthrose und Koxarthrose), maligne Erkrankungen (v.a. des Gastrointestinaltrakts und der weiblichen Geschlechtsorgane) (16), Fertilitätsstörungen (17) und psychische Erkrankungen wie Depression (18) hinzugerechnet. Für das Ausmaß an Folgeerkrankungen bei Adipositas kommt nicht nur der Masse des Fettgewebes insgesamt, sondern vor allem dessen Verteilung eine entscheidende Rolle zu (u.a. 19). So führt die viszeral (abdominal) betonte Fettverteilung im Vergleich zur subkutan betonten Fettansammlung im Gesäß- und Oberschenkelbereich über die gesteigerte Freisetzung pro-inflammatorischer Zytokine zu einem höheren Risiko für – im Rahmen eines metabolischen Syndroms auftretende – kardiovaskuläre Folgeerkrankungen (20). Die Übersterblichkeit adipöser Menschen ist hauptsächlich den kardiovaskulären Komplikationen geschuldet (11).

Von der im angloamerikanischen Sprachraum als „common obesity“ bezeichneten primären Adipositas durch insbesondere seit den 70er Jahren des vorherigen Jahrhunderts veränderte Essgewohnheiten mit gesteigerter Kalorienaufnahme (21; 22) einerseits und erheblich reduzierter körperlicher Alltagsaktivität (23) andererseits, sind sekundäre Formen der Adipositas bei genetischen Syndromen (24), endokrinen Erkrankungen (25), Tumorerkrankungen mit hypothalamischer Beteiligung (26) und die Einnahme adipogener Medikamente (27; 28) abzugrenzen; weiterhin auch die vereinzelt auftretenden monogenetischen Formen der Adipositas mit homozygoten Mutationen im Leptin-Melanocortin-Signalweg (29).

Modifizierende Faktoren bei primärer Adipositas durch eine gestörte Energiebilanz sind genetische Polymorphismen (30-32) und epigenetische Veränderungen (32). Weiterhin kommt auch psychischen sowie sozialen Faktoren entscheidende Bedeutung zu (33). An psychischen Faktoren ist insbesondere Depressivität zu benennen; die bi-direktionale Assoziation von Depression mit Adipositas wurde wiederholt berichtet (u.a. 34-36). Als Bindeglied zwischen diesen beiden Erkrankungen werden einerseits biologische Faktoren, wie eine Aktivierung der hypothalamisch-hypophysär-adrenalen Achse, eine mit Adipositas einhergehende Leptinresistenz, die erhöhten Konzentrationen pro-inflammatorischer Zytokine (37), aber auch die Adipositas-begünstigende reduzierte körperliche Aktivität depressiver Patienten (38) sowie eine veränderte Nahrungsmittelwahl (37) berichtet.

Gemäß der derzeit gültigen interdisziplinären S3-Leitlinie zur Prävention und Therapie der Adipositas (39) bilden Ernährungs-, Bewegungs- und Verhaltenstherapie die Grundlage der Adipositasbehandlung. Eine eigenständige Gewichtsreduktion (self-directed weight loss) durch Kalorienrestriktion und Bewegungssteigerung ist vermutlich die am häufigsten angewandte Strategie zur Gewichtsabnahme (40), wobei in Folge fehlender professioneller Begleitung die Datenlage zum langfristigen Erfolg dieser Strategie spärlich ist. Die Nutzung von Internet-basierten Gewichtsreduktionsprogrammen ermöglicht ein ebenfalls niedrigschwelliges Vorgehen zur mittelfristigen Gewichtsreduktion (41). Konservative, auf kontinuierliche Verhaltensänderung zielende Interventionen sind auch langfristig bezüglich einer Gewichtskontrolle wirksam, es scheint jedoch eine kontinuierliche und intensive professionelle Begleitung erforderlich zu sein (42). Die unterstützende medikamentöse Therapie der Adipositas war bezüglich des erreichbaren Gewichtsverlusts bisher nur von geringer Effektivität (43) oder durch ausgeprägte unerwünschte Wirkungen belastet (44). Seit 2015 steht mit dem Glukagon-like Peptid 1-Analogon Liraglutid ein wirkungsvolles Pharmakon zur Behandlung der Adipositas zur Verfügung, welches eine Gewichtsabnahme von 8,0 % des Ausgangsgewichts nach einjähriger medikamentöser Intervention ermöglicht (45). Adipositaschirurgische Therapieverfahren ermöglichen nachhaltig die am stärksten ausgeprägte Gewichtsreduktion von bis zu mehr als 60 % des Übergewichts (excess weight loss, EWL) und reduzieren darüber hinaus nachweislich Morbidität und Mortalität (46-48).

Wie auch bei anderen chronischen Erkrankungen werden erreichbare Therapieerfolge und Lebensqualität vom Coping-Verhalten mitbestimmt. In der Literatur werden problemorientierte (adaptive) von dysfunktionalen (zumeist vermeidenden) Coping-Strategien abgegrenzt (49; 50). In einer Übersichtsarbeit haben Elfhag und Rössner (51) begünstigende Verhaltensstrategien zur längerfristigen Gewichtsabnahme aufgeführt (u.a. höherer initialer Gewichtsverlust, Erreichen eines selbstbestimmten Gewichtsziels, körperlich aktiverer Lebensstil, regelmäßige Mahlzeitenfolge mit Einnahme eines Frühstücks, Selbstbeobachtung des Verhaltens). Nachweislich zu vermehrter körperlicher Aktivität führende Coping-Strategien bei adipösen Patienten sind bisher noch nicht identifiziert.

Ein wesentliches Diagnosekriterium für eine Anorexia nervosa (AN) ist das mit reduzierter Fettmasse einhergehende Untergewicht (52). Differentialdiagnostisch sind u.a. Tumorkachexie, chronische Infekte, chronisch entzündliche Darmerkrankung, Malabsorptionssyndrome und Endokrinopathien abzugrenzen (53). Die Lebenszeitprävalenz

der Anorexia nervosa wird unter westlichen Lebensbedingungen mit bis zu 4 % für Frauen und $< 0,5$ % für Männer angegeben (54). Chronische Verläufe der AN führen zu schwerwiegenden Folgeerkrankungen wie Herzmuskelatrophie, Osteoporose, hämatologischen Veränderungen und Hirnatrophie. Die erhöhte Sterblichkeit ist hauptsächlich durch Infektionen, kardiale Komplikationen und Suizide bedingt (55). Ziel der internistischen und psychotherapeutischen Behandlung ist die Normalisierung des Körpergewichts mit einem auf den Energieumsatz abgestimmten Essverhalten. Zu Beginn der Wiederernährung ist die graduelle und kontrollierte Steigerung der Nahrungszufuhr notwendig, um das Auftreten eines Refeeding-Syndroms zu vermeiden (56; 57).

Zur erfolgreichen therapeutischen Intervention sowohl bei Adipositas als auch bei Anorexia nervosa ist die möglichst präzise Quantifizierung der Energiezufuhr einerseits und des Energieumsatzes andererseits notwendig. Im ambulanten Bereich werden zur Abschätzung der Energiezufuhr zumeist Selbsterhebungsinstrumente wie retrospektive 24-h-Erinnerungsprotokolle, Verzehrshäufigkeitenfragebögen (food frequency questionnaire) oder prospektive Verzehrprotokolle mit Computer-gestützter standardisierter Auswertung genutzt (58), wobei die Kalorienzufuhr mit diesen Instrumenten zumeist anwenderbedingt um 20 bis 30 % erheblich unterschätzt wird (59-61). Unter klinischen Bedingungen kann die Energieaufnahme hingegen relativ robust mit Hilfe von Fachpersonal bilanziert werden.

Demgegenüber ist sowohl die valide ambulante als auch stationäre Abschätzung des Energieumsatzes äußerst schwierig. Der Gesamtenergieumsatz setzt sich aus Ruheenergieumsatz, nahrungsinduzierter Thermogenese, Thermoregulation (insbesondere kälteinduzierter Thermogenese) und aktivitätsbedingter Thermogenese (AT) zusammen (62; 63). Da Ruheenergieumsatz und nahrungsinduzierte Thermogenese durch Verhalten allenfalls nur minimal beeinflussbar sind, kommt der variablen aktivitätsbedingten Thermogenese – als potentiell beeinflussbarer Komponente – für die Körpergewichtsregulation eine wichtige Bedeutung zu. Die aktivitätsbedingte Thermogenese kann weiter in Thermogenese durch sportliche Aktivität (exercise-related activity thermogenesis, EAT) und Thermogenese durch Alltags- und Spontanaktivität (non-exercise activity thermogenesis, NEAT) unterteilt werden. Abgeleitet von der Beobachtung, dass diejenigen normalgewichtigen Probanden, die unter Bedingungen einer temporären kalorischen Überernährung NEAT weiter steigern konnten, eine geringere Zunahme der Fettmasse aufwiesen (64), wird NEAT eine wichtige Rolle für die Regulation des Körpergewichts zugeschrieben (65). Bei schlanken oder untergewichtigen Menschen ist

zusätzlich die kälteinduzierte Thermogenese bei der Abschätzung des Gesamtenergieumsatzes zu berücksichtigen. Bei bereits milder Kälteexposition kommt es zur Abgabe von Wärmeenergie im braunen oder gebräunten Fettgewebe, das über eine hohe Dichte an Mitochondrien verfügt, deren Atmungskette zur Wärmegewinnung entkoppelt werden kann (63; 66).

Die aufwendige Quantifizierung des Gesamtenergieumsatzes mit doppelt markiertem Wasser (67) oder Raumkalorimetrie (68) bleibt physiologischen Studien mit geringer Probandenzahl vorbehalten. Die Quantifizierung des Ruheenergieumsatzes mittels indirekter Kalorimetrie unter Verwendung eines Haubensystems ist ebenfalls technisch anspruchsvoll und eignet sich daher nur bedingt für den klinischen Einsatz (69). Üblicherweise werden Näherungsformeln zur Berechnung des Grundumsatzes angewandt und dann ggf. zur Abschätzung des Gesamtenergieumsatzes mit einem Aktivitätsfaktor (PAL [physical activity level]-Faktor) multipliziert (70). Die am Häufigsten gebrauchte Formel wurde von Harris und Benedict zu Beginn des vorherigen Jahrhunderts entwickelt (71). Um dem höheren Anteil an (Fett-) Gewebe bei adipösen Patienten Rechnung zu tragen, wurden im Verlauf BMI-adaptierte Formeln entwickelt (72). Die Quantifizierung der aktivitätsbedingten Thermogenese mittels direkter Messung ist äußerst anspruchsvoll und aufwendig (73). Vereinfacht wird AT berechnet (65) oder mittels Einsatz von Fragebögen, die eine kategoriale Einordnung spezifischer Aktivitäten erlauben und unter Berücksichtigung der jeweiligen Aktivitätsdauer den Energieumsatz abschätzen, ermittelt (74; 75). Mahabir et al. (61) konnten Abweichungen des geschätzten Energieumsatzes um bis zu 60 % im Vergleich zur Bestimmung mit doppelt markiertem Wasser aufzeigen, wobei insbesondere Probanden mit Adipositas die Aktivitätsthermogenese ausgeprägter überschätzen (61; 76). Der Einsatz einfacher Schrittzähler ermöglicht eine objektivere Einschätzung der körperlichen Aktivität (77), berücksichtigt jedoch unzureichend die Aktivitätsthermogenese durch Bewegung des Oberkörpers (78). Der Gebrauch von kommerziell erhältlichen, technologisch aufwendigeren Akzelerometern ermöglicht eine differenziertere Einschätzung der körperlichen Aktivität (79). Problematisch ist jedoch, dass körperliche Aktivität von diesen Geräten zumeist in Einheiten (activity units, counts) angegeben wird, die zwischen den verschiedenen Akzelerometern nur in einem geringen Maße vergleichbar sind und zumeist auch nicht in Energieäquivalente umgerechnet werden können.

Mit dem am Oberarm getragenen SenseWear®-Armband (SWA; SMT medical technology, Würzburg, Deutschland) steht ein Aktivitätsmonitor zur Verfügung, der neben zweiaxialer Akzelerometrie (vertikale und horizontale Beschleunigungsmessung) physiologische Daten wie Hauttemperatur, körpernahe Temperatur, Wärmefluss und Hautleitfähigkeit misst. Unter Berücksichtigung von Geschlecht, Alter, Größe, Gewicht, Händigkeit und Nikotinkonsum wird mit diesen erfassten Daten mittels spezifischer Hersteller-interner Algorithmen der Gesamtenergieumsatz sowie folgende Daten ausgegeben: Schrittzahl, metabolisches Äquivalent (metabolic equivalent, MET, wobei ein MET dem Energieumsatz von einer kcal/kg Körpergewicht/Stunde entspricht), Energieumsatz und Dauer der körperlichen Aktivität zu bestimmten (programmierbaren) MET-Intensitäten, Liegedauer und Schlafdauer. Die Bestimmung des Gesamtenergieumsatzes mittels SWA wurde bereits gegen die Isotopenuntersuchung mit doppelt markiertem Wasser validiert und zeigte eine angemessene Übereinstimmung (80; 81).

Zusammenfassend ist ein besseres Verständnis des Energieumsatzes mitsamt seiner einzelnen Komponenten hinsichtlich der Möglichkeit gezielter therapeutischer Interventionen bei Patienten mit gestörter Energiebilanz notwendig. Entscheidend für die breite Anwendung von Aktivitätsmonitoren ist deren Tauglichkeit für den klinischen Alltag. Die hier dargestellte Auswahl an wissenschaftlichen Arbeiten geht sowohl methodologischen Fragen bei der Anwendung eines Aktivitätsmonitors zur Ermittlung von Komponenten des Energieumsatzes, als auch Fragen zur Assoziation von NEAT mit psychischen Faktoren und zur Bedeutung von NEAT für die Gewichtsregulation nach.

2 Zusammenfassung eigener Arbeiten

Die vorliegende Habilitationsschrift berücksichtigt fünf Originalarbeiten. Die Fragestellungen lassen sich Arbeits-übergreifend wie folgt zusammenfassen:

1. *Methodologische Fragen zur Einschätzung des Ruheenergieumsatzes:*

Eignet sich das SenseWear®-Armband (SMT medical technology, Würzburg, Deutschland) als Aktivitätsmonitor zur Einschätzung des Ruheenergieumsatzes unter standardisierten Untersuchungsbedingungen bei Patienten unterschiedlicher Gewichtskategorien (von untergewichtig bis hochgradig adipös) im Vergleich zur Messung des Ruheenergieumsatzes mittels indirekter Kalorimetrie als Referenzmethode sowie der im klinischen Alltag üblichen Berechnung des Ruheenergieumsatzes mit sowohl gewichtsspezifischen als auch krankheitsspezifischen Näherungsformeln?

Erlaubt die Messung des Energieumsatzes mittels SWA im Schlaf bei ambulanten Patienten eine valide Abschätzung des Ruheenergieumsatzes im Vergleich zur Messung des Ruheenergieumsatzes mittels indirekter Kalorimetrie als Referenzmethode unter standardisierten Untersuchungsbedingungen?

2. *Quantifizierung der Komponenten des Energieumsatzes bei Menschen unterschiedlicher Gewichtskategorien:*

Unterscheiden sich gewichtsadaptierter Gesamtenergieumsatz, gewichtsadaptierte Komponenten des bewegungsabhängigen Energieumsatzes und Bewegungsverhalten bei Menschen unterschiedlicher Gewichtskategorien? Wie verhalten sich Energieumsatz durch Alltagsaktivität und Energieumsatz durch sportliche Aktivität in den differenten Gewichtskategorien?

3. *Assoziation zwischen bewegungsabhängigem Energieumsatz und psychischen Faktoren:*

Modifizieren psychische Parameter wie Depressivität oder Coping-Verhalten den gewichtsadaptierten bewegungsabhängigen Energieumsatz vor intendierter bariatrischer Chirurgie?

4. *Beeinflussung der Energiebilanz durch körperliche Aktivität:*

Inwieweit können höhergradig adipöse Patienten mittelfristig ihren bewegungsabhängigen Energieumsatz zum Erzielen einer Gewichtsabnahme steigern? Welche Komponenten des Energieumsatzes werden verändert? Ändert sich das Bewegungsverhalten?

2.1 Energieumsatz und Bewegungsverhalten bei Menschen unterschiedlicher Gewichtskategorien

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Isabelle Hoffmann, Matthias Pirlich, Christian J. Strasburger, Herbert Lochs. Differences of energy expenditure and physical activity patterns in subjects with various degrees of obesity. Clinical Nutrition (2010) 29(6):766-72

Energieumsatz und körperliche Aktivität tragen maßgeblich zur Gewichtsregulation bei (82). In der vorliegenden Arbeit wurden Gesamtenergieumsatz (TEE) sowie einzelne Komponenten des Gesamtenergieumsatzes (Ruheenergieumsatz [REE], Energieumsatz durch sportliche Aktivität [EAT], Energieumsatz durch Alltagsaktivität [NEAT]) bei 78 Probanden (55 Frauen und 23 Männer, Alter 46 ± 12 Jahre) unterschiedlicher Gewichtskategorien (28 Normal-/Übergewichtige, 13 Probanden mit Adipositas I°, 13 Probanden mit Adipositas II° und 24 Probanden mit Adipositas III°) mit einem Aktivitätsmonitor (SenseWear®-Armband [SWA], SMT medical technology, Würzburg, Deutschland) untersucht. Weiterhin wurde das SWA bezüglich der Messung von REE gegenüber der Bestimmung von REE mittels indirekter Kalorimetrie (IC) bei 63 Probanden validiert.

Die Bestimmung von REE mittels SWA korrelierte signifikant mit der Messung von REE mittels indirekter Kalorimetrie ($r = 0,826$; $p < 0,001$) wobei der bestimmte REE mittels SWA um $13,4 \pm 13,9$ % höher lag. Ein Methodenvergleich nach Bland-Altman (83) zeigte jedoch 92 % der Messwerte innerhalb von zwei Standardabweichungen der Differenz der REE-Bestimmung beider Messmethoden. TEE und REE stiegen statistisch signifikant kontinuierlich mit ansteigender Gewichtskategorie von 2567 bzw. 1437 kcal/d bei nicht adipösen Probanden bis auf 3033 bzw. 1931 kcal/d bei Probanden mit Adipositas III° an (ANOVA für TEE: $p = 0,016$, für REE: $p < 0,001$). Gewichtsbezogener TEE und REE sowie gewichtsbezogene Aktivitätsthermogenese zeigten jeweils einen statistisch hochsignifikanten Abfall (ANOVA für alle: $p < 0,001$) mit ansteigender Gewichtskategorie. Körpergewichtsbezogene NEAT ist mit durchschnittlich 9,8 kcal/kg/d über die einzelnen Gewichtskategorien weitgehend stabil, um dann bei Probanden mit Adipositas III° deutlich auf 5,7 kcal/kg/d abzufallen. Der Anteil von EAT an der Aktivitätsthermogenese ist insbesondere bei den adipösen Probanden vernachlässigbar gering.

Zusammenfassend erscheint der klinische Einsatz des SWA zur Abschätzung von REE bei normal-, übergewichtigen und adipösen Menschen gerechtfertigt, wobei die Überschätzung des REE von ca. 200 kcal/d im Vergleich zur IC berücksichtigt werden muss. Die graduelle Abnahme des gewichtsbezogenen Gesamtenergieumsatzes und der gewichtsbezogenen Thermogenese ist zwischen Probanden mit Adipositas II° und III° am stärksten ausgeprägt, da es bei Übergang von Adipositas II° zu III° zu einem erheblichen Abfall der körpergewichtsbezogenen Thermogenese durch Alltagsaktivität kommt.

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Isabelle Hoffmann, Matthias Pirlich, Christian J. Strasburger, Herbert Lochs. Differences of energy expenditure and physical activity patterns in subjects with various degrees of obesity. *Clinical Nutrition* (2010) 29(6):766-72
<http://dx.doi.org/10.1016/j.clnu.2010.05.003>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Isabelle Hoffmann, Matthias Pirlich, Christian J. Strasburger, Herbert Lochs. Differences of energy expenditure and physical activity patterns in subjects with various degrees of obesity. *Clinical Nutrition* (2010) 29(6):766-72
<http://dx.doi.org/10.1016/j.clnu.2010.05.003>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Isabelle Hoffmann, Matthias Pirlich, Christian J. Strasburger, Herbert Lochs. Differences of energy expenditure and physical activity patterns in subjects with various degrees of obesity. *Clinical Nutrition* (2010) 29(6):766-72
<http://dx.doi.org/10.1016/j.clnu.2010.05.003>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Isabelle Hoffmann, Matthias Pirlich, Christian J. Strasburger, Herbert Lochs. Differences of energy expenditure and physical activity patterns in subjects with various degrees of obesity. *Clinical Nutrition* (2010) 29(6):766-72
<http://dx.doi.org/10.1016/j.clnu.2010.05.003>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Isabelle Hoffmann, Matthias Pirlich, Christian J. Strasburger, Herbert Lochs. Differences of energy expenditure and physical activity patterns in subjects with various degrees of obesity. *Clinical Nutrition* (2010) 29(6):766-72
<http://dx.doi.org/10.1016/j.clnu.2010.05.003>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Isabelle Hoffmann, Matthias Pirlich, Christian J. Strasburger, Herbert Lochs. Differences of energy expenditure and physical activity patterns in subjects with various degrees of obesity. *Clinical Nutrition* (2010) 29(6):766-72
<http://dx.doi.org/10.1016/j.clnu.2010.05.003>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Isabelle Hoffmann, Matthias Pirlich, Christian J. Strasburger, Herbert Lochs. Differences of energy expenditure and physical activity patterns in subjects with various degrees of obesity. *Clinical Nutrition* (2010) 29(6):766-72
<http://dx.doi.org/10.1016/j.clnu.2010.05.003>

2.2 Validierung eines Aktivitätsmonitors zur Bestimmung des Ruheenergieumsatzes bei untergewichtigen Patientinnen mit Anorexia nervosa

Ulf Elbelt, Verena Haas*, Tobias Hofmann, Andreas Stengel, Heike Berger, Stephanie Jeran, Burghard F. Klapp. Evaluation of a Portable Armband Device to Assess Resting Energy Expenditure in Patients with Anorexia Nervosa. Nutrition in Clinical Practice (2016) 31(3):362-7*

*contributed equally

Für Patientinnen mit Anorexia nervosa (AN) ist die wenig aufwendige und robuste Abschätzung des initial herabregulierten (84) und nach Einleitung einer Ernährungstherapie erheblich ansteigenden (85) Ruheenergieumsatzes (REE) von klinischer Relevanz, um eine kontrollierte Gewichtszunahme zu erzielen und ein Refeeding-Syndrom zu vermeiden. Die Messung des REE mittels indirekter Kalorimetrie (IC) als Referenzmethode ist zeitaufwendig und bedarf sachkundigem Personals. Die Berechnung des Grundumsatzes mit Hilfe von Näherungsformeln ist problematisch, da diese für untergewichtige Patientinnen mit AN zumeist nur unzureichend validiert sind (86) und deren Anwendung den dynamischen Veränderungen des REE vor und nach Einleitung einer Ernährungstherapie nicht Rechnung trägt.

In dieser methodologischen Arbeit wurde die Ermittlung des REE mit Hilfe eines Aktivitätsmonitors (SenseWear®-Armband [SWA], SMT medical technology, Würzburg, Deutschland) gegenüber der Referenzmethode IC bei 34 Patientinnen (Alter 27 ± 8 Jahre, Körpermasseindex [BMI] $14,4 \pm 2,0$ kg/m²) mit AN zu Beginn einer stationären Behandlung untersucht. Weiterhin wurden eine untergewichtsspezifische (72) und eine krankheitsspezifische (87) Näherungsformel validiert.

Während die Ermittlung des REE mittels SWA eine signifikante Überschätzung von 23 ± 27 % im Vergleich zur IC ergab (1166 ± 174 versus 979 ± 198 kcal/d, $p < 0,001$) und 62 % der Messungen eine Überschätzung von > 10 % im Vergleich zur Referenzmethode IC zeigten, wurde REE mit der untergewichtsspezifischen Näherungsformel nach Müller et al. (72) bei 82 % der Berechnungen zu > 10 % unterschätzt. Die krankheitsspezifische Berechnung des REE nach Scalfi et al. (87) ergab bei der Hälfte der Berechnungen Werte innerhalb einer Abweichung von ± 10 % verglichen mit der Referenzmethode der IC.

Zusammenfassend erscheint das SWA mit einer durchschnittlichen Überschätzung von 187 kcal/d zur Quantifizierung des REE bei untergewichtigen Patientinnen mit AN nicht ausreichend geeignet zu sein.

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt*, Verena Haas*, Tobias Hofmann, Andreas Stengel, Heike Berger, Stephanie Jeran, Burghard F. Klapp. Evaluation of a Portable Armband Device to Assess Resting Energy Expenditure in Patients with Anorexia Nervosa. Nutrition in Clinical Practice (2016) 31(3):362-7

*contributed equally

<http://dx.doi.org/10.1177/0884533615618900>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt*, Verena Haas*, Tobias Hofmann, Andreas Stengel, Heike Berger, Stephanie Jeran, Burghard F. Klapp. Evaluation of a Portable Armband Device to Assess Resting Energy Expenditure in Patients with Anorexia Nervosa. *Nutrition in Clinical Practice* (2016) 31(3):362-7

*contributed equally

<http://dx.doi.org/10.1177/0884533615618900>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt*, Verena Haas*, Tobias Hofmann, Andreas Stengel, Heike Berger, Stephanie Jeran, Burghard F. Klapp. Evaluation of a Portable Armband Device to Assess Resting Energy Expenditure in Patients with Anorexia Nervosa. *Nutrition in Clinical Practice* (2016) 31(3):362-7

*contributed equally

<http://dx.doi.org/10.1177/0884533615618900>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt*, Verena Haas*, Tobias Hofmann, Andreas Stengel, Heike Berger, Stephanie Jeran, Burghard F. Klapp. Evaluation of a Portable Armband Device to Assess Resting Energy Expenditure in Patients with Anorexia Nervosa. *Nutrition in Clinical Practice* (2016) 31(3):362-7

*contributed equally

<http://dx.doi.org/10.1177/0884533615618900>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt*, Verena Haas*, Tobias Hofmann, Andreas Stengel, Heike Berger, Stephanie Jeran, Burghard F. Klapp. Evaluation of a Portable Armband Device to Assess Resting Energy Expenditure in Patients with Anorexia Nervosa. *Nutrition in Clinical Practice* (2016) 31(3):362-7

*contributed equally

<http://dx.doi.org/10.1177/0884533615618900>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt*, Verena Haas*, Tobias Hofmann, Andreas Stengel, Heike Berger, Stephanie Jeran, Burghard F. Klapp. Evaluation of a Portable Armband Device to Assess Resting Energy Expenditure in Patients with Anorexia Nervosa. *Nutrition in Clinical Practice* (2016) 31(3):362-7

*contributed equally

<http://dx.doi.org/10.1177/0884533615618900>

2.3 Bestimmung des Ruheenergieumsatzes mittels ambulant getragenen Aktivitätsmonitor in der frühen Schlafphase

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Herbert Lochs. Estimating resting energy expenditure with a portable armband device in an ambulatory setting. Nutrition in Clinical Practice (2012) 27(6):825-31

Die Messung des Ruheenergieumsatzes (REE) ambulant behandelter Patienten mittels indirekter Kalorimetrie (IC) erfordert hohen Aufwand sowohl von technischem Personal als auch seitens der Patienten, so dass daher üblicherweise zur Einschätzung des REE Nahrungsformeln herangezogen werden. Für Kinder kann, bei in dieser Gruppe nur schwer herstellbaren – aber erforderlichen – Standardbedingungen, alternativ zur Messung von REE mittels IC die Messung des Energieumsatzes im Schlaf erfolgen (88).

In dieser retrospektiven Analyse erfolgte die Validierung der Bestimmung von REE in verschiedenen Schlafphasen mittels Aktivitätsmonitor (SenseWear®-Armband [SWA], SMT medical technology, Würzburg, Deutschland) gegen die Berechnung von REE anhand von Nahrungsformeln und der Messung von REE mit IC unter Standardbedingungen (REE_{IC}) bei 81 erwachsenen Patienten (58 Frauen und 23 Männer, Alter 46 ± 13 Jahre) unterschiedlicher Gewichtskategorien (BMI $36,4 \pm 9,3$ kg/m², Streuung 21,6 – 55,7 kg/m²).

Der gemittelte Energieumsatz in der frühen Schlafphase (SEE_{ep}) dreier Nächte (1756 ± 393 kcal/d) war um 7,6 % höher als REE_{IC} mit 1632 ± 346 kcal/d ($p < 0,001$). Im Vergleich zu den Nahrungsformeln nach Harris und Benedict (71) und Müller et al. (72) fiel die Überschätzung jedoch geringer aus (für beide jeweils 13 %). Für SEE_{ep} zeigten sich 58 % der Bestimmungen innerhalb einer Abweichung von ± 10 % verglichen mit REE_{IC} (für beide Nahrungsformeln jeweils 30 %). Die lineare Regressionsanalyse von SEE_{ep} und REE_{IC} ergab ein Bestimmtheitsmaß (R^2) von 0,705 ($p < 0,001$). Im Methodenvergleich nach Bland-Altman (83) zeigte sich eine zunehmende Überschätzung mit ansteigendem REE für die Berechnung von REE nach Harris und Benedict (71) ($r = -0,317$, $p < 0,01$) und für die Bestimmung von SEE_{ep} ($r = -0,231$, $p < 0,038$).

Zusammenfassend erscheint die standardisierte Bestimmung des Energieumsatzes in der frühen Schlafphase mit SWA bezüglich der präzisen Voraussage des mittels Referenzmethode IC gemessenen REE innerhalb einer Abweichung von ± 10 % der Anwendung von Nahrungsformeln überlegen und ermöglicht eine wenig aufwendige Einschätzung von REE im ambulanten Bereich.

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Herbert Lochs. Estimating resting energy expenditure with a portable armband device in an ambulatory setting. Nutrition in Clinical Practice (2012) 27(6):825-31

<http://dx.doi.org/10.1177/0884533612452011>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Herbert Lochs. Estimating resting energy expenditure with a portable armband device in an ambulatory setting. Nutrition in Clinical Practice (2012) 27(6):825-31

<http://dx.doi.org/10.1177/0884533612452011>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Herbert Lochs. Estimating resting energy expenditure with a portable armband device in an ambulatory setting. Nutrition in Clinical Practice (2012) 27(6):825-31

<http://dx.doi.org/10.1177/0884533612452011>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Herbert Lochs. Estimating resting energy expenditure with a portable armband device in an ambulatory setting. Nutrition in Clinical Practice (2012) 27(6):825-31

<http://dx.doi.org/10.1177/0884533612452011>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Herbert Lochs. Estimating resting energy expenditure with a portable armband device in an ambulatory setting. Nutrition in Clinical Practice (2012) 27(6):825-31

<http://dx.doi.org/10.1177/0884533612452011>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Herbert Lochs. Estimating resting energy expenditure with a portable armband device in an ambulatory setting. Nutrition in Clinical Practice (2012) 27(6):825-31

<http://dx.doi.org/10.1177/0884533612452011>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Herbert Lochs. Estimating resting energy expenditure with a portable armband device in an ambulatory setting. Nutrition in Clinical Practice (2012) 27(6):825-31

<http://dx.doi.org/10.1177/0884533612452011>

2.4 Körperliche Aktivität, Depressivität und Coping-Verhalten bei höhergradig adipösen Patienten, die eine bariatrische Operation anstreben

Ulf Elbelt, Anne Ahnis, Andrea Riedl, Silke Burkert, Tatjana Schuetz, Juergen Ordemann, Christian J. Strasburger, Burghard F. Klapp. Associations of physical activity with depressiveness and coping in subjects with high-grade obesity aiming at bariatric surgery: a cross-sectional study. BioPsychoSocial Medicine (2015) 9:16

Zusammenhänge zwischen Adipositas-begünstigender reduzierter körperlicher Aktivität mit zunehmender Depressivität (36; 38) und auch eher passivem Coping-Verhalten werden vermutet.

In der vorliegenden Querschnittsuntersuchung wurde der durch körperliche Aktivität bedingte Energieumsatz (bewegungsabhängige Thermogenese, AT) mit den Komponenten Energieumsatz durch sportliche Aktivität (EAT) und Energieumsatz durch Alltagsaktivität (NEAT) bei 50 höhergradig adipösen Patienten (40 Frauen und 10 Männer, Alter 42 ± 12 Jahre, 9 Patienten mit Adipositas II°, 41 Patienten mit Adipositas III°, BMI 46 ± 7 kg/m²), die eine bariatrische Operation anstreben, mit einem Aktivitätsmonitor (SenseWear®-Armband [SWA], SMT medical technology, Würzburg, Deutschland) bestimmt. Zudem wurden Depressivität und Coping-Verhalten unter Verwendung validierter Selbsterhebungsfragebögen (Modul Depression der deutschen Version des Patient Health Questionnaire (89); deutsche Version des Brief-COPE (49)) erhoben.

Körpergewichtsbezogene NEAT und die Bewegungsintensität (ausgedrückt als metabolisches Äquivalent [MET]) korrelierten invers mit dem Körpermasseindex (NEAT: $r = -0,32$, $p < 0,05$; MET: $r = -0,37$, $p < 0,01$) nicht jedoch mit der gemessenen Depressivität. Die Coping-Strategien „emotionale Unterstützung (support coping)“ und „aktive Bewältigung (active coping)“ korrelierten signifikant invers mit den folgenden Parametern des bewegungsabhängigen Energieumsatzes: 1. körpergewichtsbezogene NEAT (emotionale Unterstützung: $r = -0,34$, $p < 0,05$; aktive Bewältigung: $r = -0,36$, $p < 0,05$), 2. körpergewichtsbezogene EAT (emotionale Unterstützung: $r = -0,36$, $p < 0,05$; aktive Bewältigung: $r = -0,38$, $p < 0,01$), 3. Bewegungsintensität ausgedrückt in MET (emotionale Unterstützung: $r = -0,38$, $p < 0,01$; aktive Bewältigung: $r = -0,40$, $p < 0,01$) und 4. Dauer der EAT (emotionale Unterstützung: $r = -0,36$, $p < 0,05$; aktive Bewältigung: $r = -0,38$, $p < 0,01$).

Zusammenfassend zeigte sich keine signifikante Korrelation von bewegungsbedingtem Energieumsatz und Depressivität. Weiterhin deuten die inversen Korrelationen der als günstig eingestuften Coping-Strategien „emotionale Unterstützung“ und „aktive Bewältigung“ mit den Parametern körperlicher Aktivität darauf hin, dass diese Coping-Strategien einem gesteigerten bewegungsbedingten Energieumsatz durch körperliche Aktivität bei Patienten, die eine bariatrische Operation anstreben, entgegenstehen.

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Anne Ahnis, Andrea Riedl, Silke Burkert, Tatjana Schuetz, Juergen Ordemann, Christian J. Strasburger, Burghard F. Klapp. Associations of physical activity with depressiveness and coping in subjects with high-grade obesity aiming at bariatric surgery: a cross-sectional study. *BioPsychoSocial Medicine* (2015) 9:16

<http://dx.doi.org/10.1186/s13030-015-0042-4>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Anne Ahnis, Andrea Riedl, Silke Burkert, Tatjana Schuetz, Juergen Ordemann, Christian J. Strasburger, Burghard F. Klapp. Associations of physical activity with depressiveness and coping in subjects with high-grade obesity aiming at bariatric surgery: a cross-sectional study. *BioPsychoSocial Medicine* (2015) 9:16
<http://dx.doi.org/10.1186/s13030-015-0042-4>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Anne Ahnis, Andrea Riedl, Silke Burkert, Tatjana Schuetz, Juergen Ordemann, Christian J. Strasburger, Burghard F. Klapp. Associations of physical activity with depressiveness and coping in subjects with high-grade obesity aiming at bariatric surgery: a cross-sectional study. *BioPsychoSocial Medicine* (2015) 9:16
<http://dx.doi.org/10.1186/s13030-015-0042-4>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Anne Ahnis, Andrea Riedl, Silke Burkert, Tatjana Schuetz, Juergen Ordemann, Christian J. Strasburger, Burghard F. Klapp. Associations of physical activity with depressiveness and coping in subjects with high-grade obesity aiming at bariatric surgery: a cross-sectional study. *BioPsychoSocial Medicine* (2015) 9:16

<http://dx.doi.org/10.1186/s13030-015-0042-4>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Anne Ahnis, Andrea Riedl, Silke Burkert, Tatjana Schuetz, Juergen Ordemann, Christian J. Strasburger, Burghard F. Klapp. Associations of physical activity with depressiveness and coping in subjects with high-grade obesity aiming at bariatric surgery: a cross-sectional study. *BioPsychoSocial Medicine* (2015) 9:16
<http://dx.doi.org/10.1186/s13030-015-0042-4>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Anne Ahnis, Andrea Riedl, Silke Burkert, Tatjana Schuetz, Juergen Ordemann, Christian J. Strasburger, Burghard F. Klapp. Associations of physical activity with depressiveness and coping in subjects with high-grade obesity aiming at bariatric surgery: a cross-sectional study. *BioPsychoSocial Medicine* (2015) 9:16
<http://dx.doi.org/10.1186/s13030-015-0042-4>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Anne Ahnis, Andrea Riedl, Silke Burkert, Tatjana Schuetz, Juergen Ordemann, Christian J. Strasburger, Burghard F. Klapp. Associations of physical activity with depressiveness and coping in subjects with high-grade obesity aiming at bariatric surgery: a cross-sectional study. *BioPsychoSocial Medicine* (2015) 9:16
<http://dx.doi.org/10.1186/s13030-015-0042-4>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Anne Ahnis, Andrea Riedl, Silke Burkert, Tatjana Schuetz, Juergen Ordemann, Christian J. Strasburger, Burghard F. Klapp. Associations of physical activity with depressiveness and coping in subjects with high-grade obesity aiming at bariatric surgery: a cross-sectional study. *BioPsychoSocial Medicine* (2015) 9:16

<http://dx.doi.org/10.1186/s13030-015-0042-4>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Anne Ahnis, Andrea Riedl, Silke Burkert, Tatjana Schuetz, Juergen Ordemann, Christian J. Strasburger, Burghard F. Klapp. Associations of physical activity with depressiveness and coping in subjects with high-grade obesity aiming at bariatric surgery: a cross-sectional study. *BioPsychoSocial Medicine* (2015) 9:16
<http://dx.doi.org/10.1186/s13030-015-0042-4>

2.5 Der bewegungsabhängige Energieumsatz wird von höhergradig adipösen Patienten mittelfristig nicht zum Erzielen einer eigenständigen Gewichtsabnahme gesteigert

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Nina Knoll, Silke Burkert. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. Nutrients (2015) 7(7):5868-88

Reduzierte körperliche Aktivität und ein weitgehend unlimitedes Nahrungsangebot begünstigen die Entwicklung einer Adipositas (21; 90). Durch zunehmende Technisierung am Arbeitsplatz kommt daher dem Energieumsatz durch Alltagsaktivität entscheidende Bedeutung für die Aufrechterhaltung einer ausgeglichenen Energiebilanz zu (65).

In dieser Längsschnittuntersuchung über 6 Monate wurden seriell der Gesamtenergieumsatz (TEE), Komponenten des bewegungsabhängigen Energieumsatzes und Bewegungsmuster mit Hilfe eines Aktivitätsmonitors (SenseWear®-Armband [SWA], SMT medical technology, Würzburg, Deutschland), das Ernährungsverhalten mittels Verzehrshäufigkeitenfragebogen sowie der Körpergewichtsverlauf erhoben. Von den initial 160 ambulanten Patienten (126 Frauen und 34 Männer, Alter 41 ± 14 Jahre, BMI $43,3 \pm 8,3$ kg/m²) mit Wunsch nach eigenständiger Gewichtsabnahme beendeten 105 Patienten die sechsmonatige Beobachtung. Es konnte ein mittlerer Gewichtsverlust von $1,5 \pm 7,0$ kg erzielt werden ($p = 0,028$). 19 % der Patienten erreichten einen relevanten Gewichtsverlust von > 5 % des Ausgangsgewichts, 71 % hielten ihr Gewicht innerhalb eines Bereichs von ± 5 % konstant und weitere 10 % nahmen relevant (> 5 % des Ausgangsgewichts) zu. Die geringen Veränderungen von TEE, der Komponenten des bewegungsabhängigen Energieumsatzes und der Bewegungsmuster unterschieden sich nicht zwischen den Patienten der oben aufgeführten Untergruppen mit differentem Gewichtsverlauf. Die Häufigkeit des Verzehrs ungünstiger Lebensmittel verringerte sich während des sechsmonatigen Beobachtungszeitraums signifikant ($p = 0,019$), wobei sich auch diesbezüglich keine differente Entwicklung in den Gewichtsverlaufgruppen zeigte.

Zusammenfassend scheinen hochgradig adipöse Patienten eine Steigerung der körperlichen Aktivität nicht als Strategie zum Erreichen einer intendierten eigenständigen Gewichtsreduktion einzusetzen bzw. einsetzen zu können.

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Nina Knoll, Silke Burkert. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. *Nutrients* (2015) 7(7):5868-88
<http://dx.doi.org/10.3390/nu7075256>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Nina Knoll, Silke Burkert. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. *Nutrients* (2015) 7(7):5868-88
<http://dx.doi.org/10.3390/nu7075256>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Nina Knoll, Silke Burkert. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. *Nutrients* (2015) 7(7):5868-88
<http://dx.doi.org/10.3390/nu7075256>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Nina Knoll, Silke Burkert. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. *Nutrients* (2015) 7(7):5868-88
<http://dx.doi.org/10.3390/nu7075256>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Nina Knoll, Silke Burkert. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. *Nutrients* (2015) 7(7):5868-88
<http://dx.doi.org/10.3390/nu7075256>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Nina Knoll, Silke Burkert. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. *Nutrients* (2015) 7(7):5868-88
<http://dx.doi.org/10.3390/nu7075256>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Nina Knoll, Silke Burkert. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. *Nutrients* (2015) 7(7):5868-88
<http://dx.doi.org/10.3390/nu7075256>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Nina Knoll, Silke Burkert. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. *Nutrients* (2015) 7(7):5868-88
<http://dx.doi.org/10.3390/nu7075256>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Nina Knoll, Silke Burkert. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. *Nutrients* (2015) 7(7):5868-88
<http://dx.doi.org/10.3390/nu7075256>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Nina Knoll, Silke Burkert. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. *Nutrients* (2015) 7(7):5868-88
<http://dx.doi.org/10.3390/nu7075256>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Nina Knoll, Silke Burkert. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. *Nutrients* (2015) 7(7):5868-88
<http://dx.doi.org/10.3390/nu7075256>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Nina Knoll, Silke Burkert. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. *Nutrients* (2015) 7(7):5868-88
<http://dx.doi.org/10.3390/nu7075256>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Nina Knoll, Silke Burkert. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. *Nutrients* (2015) 7(7):5868-88
<http://dx.doi.org/10.3390/nu7075256>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Nina Knoll, Silke Burkert. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. *Nutrients* (2015) 7(7):5868-88
<http://dx.doi.org/10.3390/nu7075256>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Nina Knoll, Silke Burkert. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. *Nutrients* (2015) 7(7):5868-88
<http://dx.doi.org/10.3390/nu7075256>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Nina Knoll, Silke Burkert. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. *Nutrients* (2015) 7(7):5868-88
<http://dx.doi.org/10.3390/nu7075256>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Nina Knoll, Silke Burkert. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. *Nutrients* (2015) 7(7):5868-88
<http://dx.doi.org/10.3390/nu7075256>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Nina Knoll, Silke Burkert. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. *Nutrients* (2015) 7(7):5868-88
<http://dx.doi.org/10.3390/nu7075256>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Nina Knoll, Silke Burkert. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. *Nutrients* (2015) 7(7):5868-88
<http://dx.doi.org/10.3390/nu7075256>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Nina Knoll, Silke Burkert. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. *Nutrients* (2015) 7(7):5868-88
<http://dx.doi.org/10.3390/nu7075256>

Verweis auf Volltext:

Ulf Elbelt, Tatjana Schuetz, Nina Knoll, Silke Burkert. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. *Nutrients* (2015) 7(7):5868-88
<http://dx.doi.org/10.3390/nu7075256>

3 Diskussion

Bestimmung des Ruheenergieumsatzes mittels SWA und unterschiedlicher Nahrungsformeln

Die Bestimmung des Ruheenergieumsatzes mittels indirekter Kalorimetrie als „Goldstandard“ ist zeitaufwendig, erfordert eine kostenintensive Geräteausstattung und speziell ausgebildetes Personal. Darüber hinaus ist die Sicherstellung standardisierter Untersuchungsbedingung insbesondere bei Patientinnen mit Anorexia nervosa schwierig (91). Für Probanden mit Normalgewicht bis hin zu Probanden mit Adipositas III° konnten wir eine statistisch signifikante Überschätzung des mit dem SWA bestimmten Ruheenergieumsatzes um 208 ± 237 kcal/d (entsprechend $13,4 \pm 13,9$ % des REE_{IC}) unter Nutzung des Auswertalgorithmus der Software InnerView® Professional, Version 6.1 (SMT medical technology, Würzburg, Deutschland) feststellen (REE_{SWA} 1857 ± 421 kcal/d vs. REE_{IC} 1619 ± 352 kcal/d) (92). Ein Methodenvergleich nach Bland-Altman (83) ergab jedoch, dass 92 % der Messwerte innerhalb von 1,96 Standardabweichungen des Mittelwerts beider Messungen lagen (257 bis -673 kcal/d). Die signifikante negative Korrelation zwischen der Differenz der Messungen mit dem Mittelwert des Ruheenergieumsatzes beider Messmethoden weist auf einen systematischen Fehler mit ansteigendem Ruheenergieumsatz hin. Es zeigte sich jedoch keine statistisch signifikante Korrelation mit dem BMI, so dass nicht von einem relevanten systematischen Messfehler mit ansteigendem Körpergewicht auszugehen ist. Demgegenüber ist die Überschätzung des Ruheenergieumsatzes mittels SWA unter Nutzung des weiterentwickelten Auswertalgorithmus SenseWear™ 8.1 software (BodyMedia, Pittsburgh, USA) im Vergleich zur IC bei untergewichtigen Frauen mit Anorexia nervosa mit 187 kcal/d (REE_{SWA} 1166 ± 174 kcal/d vs. REE_{IC} 979 ± 198 kcal/d) absolut zwar geringer, mit 23 ± 27 % des REE_{IC} relativ jedoch ausgeprägter (91). Ein Methodenvergleich nach Bland-Altman (83) zeigte 97 % der Messungen innerhalb der 1,96 Standardabweichungen des Mittelwerts von REE beider Messmethoden (230 bis -604 kcal/d) ohne Hinweis auf einen systematischen Messfehler. Die Abschätzung des Ruheenergieumsatzes mittels SWA ist bei normalgewichtigen bis adipösen Patienten in der Literatur trotz Nutzung des selben Auswertalgorithmus (InnerView™ Research Software, Version 4.0, BodyMedia, Pittsburgh, USA) nicht einheitlich, so wird der Ruheenergieumsatz in einer Studie um im Mittel 69 kcal/d unterschätzt (93) und in einer anderen Studie um 54 kcal/d bei Frauen und 108 kcal/d bei Männern überschätzt (94). Diese Diskrepanz kann bisher nicht ausreichend erklärt werden, da auch die vergleichende indirekte Kalorimetrie mit baugleichem Gerät durchgeführt wurde (Sensor Medics 29, SensorMedics

Corporation, Yorba Linda, USA). Als mögliche Fehlerquelle könnten Unterschiede bei der aufwendigen Kalibrierung der indirekten Kalorimeter vermutet werden. Unsere Überschätzung des Ruheenergieumsatzes bei untergewichtigen Frauen mit Anorexia nervosa korrespondiert sehr gut mit den in der Literatur mitgeteilten Ergebnissen (95). Die hohe prozentuale Überschätzung des mittels SWA bestimmten Ruheenergieumsatzes lässt uns schlussfolgern, dass das SWA zur Einschätzung des Ruheenergieumsatzes bei untergewichtigen Patienten nicht geeignet ist. Als für diese Überschätzung ursächlich vermuten wir ein Überwiegen des Einflusses demographischer und anthropometrischer Daten wie Alter, Gewicht und Größe im Auswertalgorithmus gegenüber den ermittelten physiologischen Daten wie Hauttemperatur, körpernaher Temperatur, Wärmefluss und Hautleitfähigkeit. Diese Vermutung findet sich auch in der Literatur (93) und wird insofern gestützt, als 80 % der Varianz von REE_{SWA} durch Alter, Gewicht und Größe erklärt werden können, wobei das eingegebene Gewicht den größten Einfluss auf REE_{SWA} mit einem Regressionskoeffizienten von 0,633 ($p < 0,001$) aufweist (94).

In eigenen Untersuchung bei normalgewichtigen bis hin zu Probanden mit Adipositas III° wird der mittels unterschiedlicher Näherungsformeln berechnete Ruheenergieumsatz um 13 % überschätzt (96). Sowohl die häufig genutzte Näherungsformel nach Harris und Benedict (71) als auch die gewichtsadaptierte Näherungsformel nach Müller et al. (72) ermöglichen in nur 30 % der Berechnungen eine Prädiktion innerhalb einer 10-prozentigen Abweichung. 67 bzw. 68 % der Berechnungen nach Harris und Benedict bzw. Müller et al. führen zu einer relevanten Überschätzung > 10 % des mit indirekter Kalorimetrie gemessenen Ruheenergieumsatzes. In der Analyse nach Bland-Altman (83) zeigte sich für die Berechnung mit der Näherungsformel nach Harris und Benedict (71) ein systematischer Fehler mit zunehmender Überschätzung des Ruheenergieumsatzes mit ansteigendem absolutem Ruheenergieumsatz. Die gewichtsadaptierte Näherungsformel nach Müller et al. (72) hingegen wies keinen systematischen Fehler auf (96). Bei untergewichtigen Patientinnen mit Anorexia nervosa ermöglicht die Nutzung der Näherungsformel nach Scalfi et al. (87) in der Hälfte der Fälle eine Prädiktion innerhalb einer 10-prozentigen Abweichung und weist im Gegensatz zur gewichtsadaptierten Formel nach Müller et al. (72) keinen systematischen Messfehler auf (91).

Zusammenfassend halten wir die Bestimmung des Ruheenergieumsatzes für klinische Fragestellungen bei normalgewichtigen bis adipösen Patienten trotz einer Überschätzung von

im Mittel 13 % für gerechtfertigt, da die alternativ eingesetzte Berechnung mit Nährungsformeln ebenfalls deutliche Abweichungen ergibt (96). Demgegenüber ist der Einsatz des SWA zur Bestimmung des Ruheenergieumsatzes bei untergewichtigen Patienten mit einer mittleren Überschätzung von 23 % nicht gerechtfertigt. Alternativ zur Bestimmung von REE mittels indirekter Kalorimetrie sollte bei untergewichtigen Patientinnen mit Anorexia nervosa die krankheitsspezifische Nährungsformel nach Scalfi et al. (87) zur Anwendung kommen.

Abschätzung des Ruheenergieumsatzes mittels SWA im Schlaf

Obwohl die Abschätzung des Ruheenergieumsatzes mittels SWA im Vergleich zur Messung mit der Referenzmethode indirekte Kalorimetrie unter definierten Standardbedingungen (am frühen Morgen in Nüchternheit, nach zumindest 30 Minuten Liegen in Ruhe bei thermoneutraler Umgebung) bereits erheblich vereinfacht ist, da das aufwendige Kalibrieren des indirekten Kalorimeters und die bei einigen Geräten erforderliche Anpassung der Flussrate der Raumlufte durch Haube und Messsystem entfällt, ist die Messung insbesondere für ambulante Patienten mit organisatorischem Aufwand und erheblichem Zeitbedarf verbunden. Auch sind die erforderlichen Ruhebedingungen für Patientinnen mit Anorexia nervosa mitunter nur schwierig einzuhalten (91). Diese Erfahrung führte bei pädiatrischen Patienten zum Vorschlag, alternativ zur Ruheenergieumsatzmessung den Energieumsatz im Schlaf zu messen (88). Für erwachsene gesunde Probanden wird der Energieumsatz im Schlaf ca. 5 % geringer als der Ruheenergieumsatz angegeben (97). Weiterhin erschien uns eine Abschätzung des Ruheenergieumsatzes im Rahmen des üblichen ambulanten Tragens des SWA zur Einschätzung des Energieumsatzes unter Alltagsbedingungen erstrebenswert. In einer retrospektiven Untersuchung (96) werteten wir den mittels SWA erhobenen Energieumsatz im Schlaf zu definierten Schlafzeiten aus und verglichen diese Ergebnisse mit der Messung von REE mit indirekter Kalorimetrie unter Standardbedingungen. Es zeigte sich eine mittlere Überschätzung des Ruheenergieumsatzes um 123 ± 214 kcal/d, entsprechend 8 ± 12 % bezüglich der ersten stabilen Schlafphase, definiert als mittels Auswertalgorithmus des SWA ausgegebene erste ununterbrochene Schlafzeit von mindestens 35 Minuten nach dem abendlichen Einschlafen. 58 % der Messergebnisse lagen innerhalb einer 10-prozentigen Abweichung bezogen auf REE_{IC} und es zeigte sich ein statistisch signifikanter Regressionskoeffizient von 0,705 ($p < 0,001$). Im Methodenvergleich nach Bland-Altman (83) lagen 94 % der gemessenen Werte innerhalb der tolerierbaren 1,96

Standardabweichungen des Mittelwertes beider Messungen. Es zeigte sich eine signifikant negative Korrelation zwischen Differenz der Messungen mit dem Mittelwert des Ruhe- bzw. Schlafenergieumsatzes beider Messmethoden als Hinweis auf einen systematischen Fehler mit ansteigendem Ruhe- bzw. Schlafenergieumsatz.

Aufgrund der von uns berichteten klinisch relevanten Überschätzung des Ruheenergieumsatzes bei untergewichtigen Patienten (91), für die ein Überwiegen der Gewichtung demographischer und anthropometrischer Daten gegenüber den physiologischen, gemessenen Daten im Auswertalgorithmus angenommen wird (91; 94), haben wir auf die Validierung der oben beschriebenen Vorgehensweise zur Ermittlung des Ruheenergieumsatzes mittels Auswertung des Schlafenergieumsatzes in dieser Patientengruppe bewusst verzichtet.

Zusammenfassend halten wir die Abschätzung des Ruheenergieumsatzes mittels alternativer Bestimmung des Schlafenergieumsatzes mit SWA für klinische Fragestellungen bei normalgewichtigen bis adipösen Patienten trotz einer Überschätzung von im Mittel 8 % für gerechtfertigt. Die Überschätzung fällt im Vergleich zur Bestimmung RE_{SWA} unter Standardbedingungen geringer aus (92). Eine Überlegenheit dieses Vorgehens gegenüber der Berechnung mittels häufig benutzter Näherungsformeln konnte von uns gezeigt werden (96). Als besonderen Vorteil werten wir, dass diese Messungen im Rahmen des üblichen ambulanten Tragens des SWA erfolgen können und so für Patienten und Kliniker kein zusätzlicher organisatorischer Aufwand entsteht.

Komponenten des Energieumsatzes und Bewegungsmuster bei Menschen unterschiedlicher Gewichtskategorien

Der Energieumsatz durch körperliche Aktivität wird als eine entscheidende Komponente der Gewichtsregulation angesehen (64; 82; 98). Voraussetzung für eine gezielte therapeutische Intervention zur Veränderung des Bewegungsverhaltens ist die sorgfältige Untersuchung von körperlicher Aktivität unter den jeweils vorherrschenden Alltagsbedingungen. Auf die relevanten methodischen Limitationen bei der Ermittlung körperlicher Aktivität wurde bereits in der Einleitung hingewiesen (61; 99). Die tägliche Schrittzahl als zuverlässiger Surrogat-Parameter für die körperliche Alltagsbewegung (92; 100) kann mit Pedometern relativ einfach für große Bevölkerungsgruppen ermittelt werden (90). Im Rahmen einer Bundesstaat-weiten repräsentativen Untersuchung der täglichen Schrittzahl in Colorado bei 730 Erwachsenen

zeigte sich ein statistisch hochsignifikanter ($p < 0,001$) Rückgang der täglichen Schrittzahl mit ansteigender Gewichtskategorie von 7259 täglichen Schritten bei normalgewichtigen zu 4866 täglichen Schritten bei adipösen Einwohnern (90). In unserer Berliner Kohorte (92) konnten wir die Assoziation zwischen täglich zurückgelegter Schrittzahl und Gewichtskategorie bestätigen, wobei die tägliche Schrittzahl sowohl für normal- und übergewichtige Probanden mit 9575 ± 3124 wie auch für adipöse Probanden höher lag. Dies lässt sich einerseits mit den unterschiedlichen Bewegungsgewohnheiten in den USA und Westeuropa erklären (101), andererseits aber auch mit den unterschiedlichen Bewegungsgewohnheiten einer Großstadtbevölkerung gegenüber denen einer ländlichen Bevölkerung (102), die anteilig in die Bundesstaat-weite Erhebung in Colorado Eingang fand. Ergänzend zum bereits berichteten kontinuierlichen Abfall der täglichen Schrittzahl mit ansteigender Gewichtskategorie konnten wir bei weiterer Differenzierung der Gewichtsklassen innerhalb der Gruppe adipöser Probanden einen ausgeprägten Abfall der täglichen Schrittzahl von Probanden mit Adipositas II° (8285 ± 2912) zu Probanden mit Adipositas III° (5921 ± 3164) zeigen.

Die Anwendung des SWA und die Bestimmung des Ruheenergieumsatzes ermöglichte uns die Berechnung des Energieumsatzes durch körperliche Aktivität ($AT = TEE - TEF - REE$), wobei die nahrungsinduzierte Thermogenese (TEF) üblicherweise mit 10 % des Gesamtenergieumsatzes (TEE) festgesetzt wird (65). Gemäß der Intensität der Bewegung – gemessen in MET – erfolgte die weitere Unterteilung von AT in NEAT und EAT, wobei wir in unseren Arbeiten – in Anlehnung an die verfügbare Literatur – die Grenze zwischen NEAT und EAT bei einer Intensität der Bewegung von 5 MET zogen (65; 74). Zur besseren Vergleichbarkeit des Energieumsatzes über eine weite BMI-Spanne bezogen wir diesen jeweils in Analogie zu Levine et al. (103) auf das Körpergewicht der Probanden (92; 104; 105). Die auf diese Weise bestimmte körperlgegewichtsbezogene NEAT korrespondierte sehr gut mit den von Levine et al. (103) mitgeteilten Ergebnissen für Probanden mit Normalgewicht und mit Adipositas I°.

Die körperlgegewichtsbezogene Aktivitätsthermogenese durch Sport (EAT) fällt bereits ausgeprägt von Normal-/Übergewichtigen (0,5 kcal/kg/d) zu Probanden mit Adipositas I° (0,1 kcal/kg/d) ab. Bei Probanden mit Adipositas II° und III° spielt EAT für den Energieumsatz praktisch keine Rolle mehr (92). In diesen Gewichtskategorien besteht Aktivitätsthermogenese (fast) gänzlich aus Alltagsaktivität. Wobei es dann – vergleichbar mit der Reduktion der täglichen Schrittzahl als Surrogat-Parameter für NEAT – vom Übergang

der Adipositas II° zur Adipositas III° zu einem ausgeprägtem Abfall der körperrgewichtsbezogenen NEAT kommt (9,8 kcal/kg/d vs. 5,7 kcal/kg/d).

In einer Querschnittsuntersuchung an 442 flämischen Erwachsenen konnten Scheers et al. (106) den Zusammenhang der Reduktion des mit SWA ermittelten Energieumsatzes durch körperliche Aktivität mit ansteigendem BMI sowohl für Männer als auch Frauen bestätigen. Adipöse Studienteilnehmer wiesen einen BMI von $33 \pm 2,8$ kg/m² auf, entsprechend einer Adipositas I°. Es sanken sowohl die durchschnittlichen MET (für Männer von 1,77 bei Normalgewicht auf 1,46 bei Adipositas, für Frauen von 1,67 bei Normalgewicht auf 1,31 bei Adipositas) als auch die tägliche Zeit in moderater oder anstrengender Tätigkeit (hier abweichend von unserer Grenze definiert als ≥ 3 MET) mit ansteigender Gewichtskategorie (für Männer von 227 min/d bei Normalgewicht auf 128 min/d bei Adipositas I°, für Frauen von 179 min/d bei Normalgewicht auf 92 min/d bei Adipositas I°). Der von uns beschriebene quantitativ relevante Rückgang von EAT (definiert als ≥ 5 MET) zwischen Personen mit Übergewicht und Adipositas I° findet sich also vergleichbar auch bei Scheers et al. (106). Für anstrengende Tätigkeit im Sinne von EAT (bei Scheers et al. (106) definiert als ≥ 6 MET) zeigte sich für Männer (Frauen) ein Abfall der Dauer von 11 (4,8) min/d bei Übergewicht auf 4,8 (1,8) min/d bei Adipositas I°. Darüber hinaus konnten Scheers et al. (106) für Männer differente Muster der körperlichen Aktivität für Samstag zeigen. Während adipöse Männer über das gesamte Wochenende den Anteil moderater körperlicher Aktivität zugunsten sitzender (In-) Aktivität im Vergleich zu den Wochentagen reduzierten, steigerten normalgewichtige und übergewichtige Männer den Anteil moderater körperlicher Aktivität zuungunsten sitzender Tätigkeiten am Samstag. Bei Frauen zeigten sich diese BMI-assoziierten differenten Bewegungsmuster im Wochenverlauf nicht. Eine Querschnittsstudie zum Bewegungsverhalten bei fast 4000 Erwachsenen in Norwegen (107) mittels Akzelerometer zeigte ebenfalls eine kontinuierliche Abnahme von körperlicher Aktivität und Schrittzahl mit ansteigender Gewichtskategorie mit den geringsten Unterschieden zwischen den Gewichtskategorien an Wochentagen zwischen 9 und 16 Uhr (entsprechend der Zeit am Arbeitsplatz) und den am stärksten ausgeprägten Unterschieden gegen Mittag und Nachmittag an Wochenendtagen. Auch in dieser Untersuchung betrug der BMI der adipösen Patienten durchschnittlich 33 kg/m², entsprechend einer Adipositas I°. In einer großen Schweizer Kohorten-Studie (108) wurde in einer Sub-Kohorte von 3042 erwachsenen Teilnehmern Bereichs-spezifisches Bewegungsverhalten mittels eines validierten Selbsterhebungsbogens ermittelt. Gesamt-, Freizeit- und anstrengende körperliche Aktivität (angegeben als MET min/Woche) waren invers mit den Adipositasparametern BMI, Taillenumfang, Taille/Hüft-

Quotient und prozentuaalem Anteil Körperfett assoziiert, wohingegen moderate körperliche Aktivität und Gehen keine signifikante Assoziation zeigten. Bei einem mittleren BMI von $26,1 \pm 4,6 \text{ kg/m}^2$ ist davon auszugehen, dass die adipösen Teilnehmer überwiegend eine Adipositas I° aufwiesen. Die von uns beschriebene relevante Reduktion des Energieumsatzes durch anstrengende Tätigkeiten (im Sinne von EAT) beim Übergang von Normal- und Übergewicht zur Adipositas I° (92) konnte durch diese nachfolgenden Untersuchungen bestätigt werden. Die drastische Reduktion des Energieumsatzes durch Alltagsaktivität (NEAT) bei Übergang zur Adipositas III° ist bislang in der Literatur so detailliert nicht mitgeteilt. Westerterp (109) beschrieb jedoch eine Reduktion des über alle BMI-Gruppen bis zu einem BMI $< 40 \text{ kg/m}^2$ weitgehend konstanten physical activity level (PAL) von 1,75 auf 1,65 bei Probanden mit einem BMI $> 40 \text{ kg/m}^2$, wobei bei diesem Ansatz nicht zwischen einzelnen Komponenten der Aktivitätsthermogenese differenziert werden konnte. Auch Prentice et al. (70) beschrieben für Männer einen drastischen Abfall der errechneten Aktivitätsthermogenese ab einem BMI $> 35 \text{ kg/m}^2$, wobei oberhalb eines BMI von 35 kg/m^2 nicht weiter differenziert wurde, bei einer Streuung bis zu einem BMI von 61 kg/m^2 jedoch vom Überwiegen einer Adipositas III° (BMI $> 40 \text{ kg/m}^2$) auszugehen ist. Auch in dieser Arbeit konnte Methoden-bedingt AT nicht weiter differenziert werden.

Zusammenfassend konnten wir zwei relevante Veränderungen der Aktivitätsthermogenese mit ansteigender Ausprägung der Adipositas beschreiben: Zunächst die drastische Abnahme von EAT beim Übergang von Normalgewicht/Übergewicht zur Adipositas I° und weiterhin die ausgeprägte Reduktion von NEAT beim Übergang der Adipositas II° zur Adipositas III°.

Assoziation von Bewegungsverhalten und Depressivität bei Patienten mit höhergradiger Adipositas

Auf die bi-direktionale Assoziation zwischen Depression und Adipositas wurde bereits in der Einleitung verwiesen (34). In einer Meta-Analyse zeigte sich für depressive Erwachsene ein um 37 % erhöhtes Risiko, adipös zu sein, während adipöse Erwachsene ein um 18 % erhöhtes Risiko aufwiesen, depressiv zu sein (110). Zusätzlich ist eine schwere Depression bei körperlich inaktiven Erwachsenen in einer Bevölkerungs-repräsentativen Untersuchung bei US-Amerikanern signifikant häufiger als bei Erwachsenen, die körperlich aktiv sind (38). In einer späteren Untersuchung zeigt sich ein höheres Risiko für depressive Symptome bei Menschen mit länger bestehender körperlicher Inaktivität in Kombination mit Übergewicht

oder Adipositas (36), wobei oberhalb eines BMI von $\geq 25 \text{ kg/m}^2$ nicht weiter differenziert wurde. Unter Berücksichtigung der zuvor dargestellten Zusammenhänge zwischen Adipositas und Aktivitätsthermogenese ist also von einer triangulären Wechselwirkung zwischen Depression, Adipositas und Bewegungsverhalten auszugehen. In unserer Untersuchung zum Bewegungsverhalten höhergradig adipöser präbariatrischer Patienten ($\text{BMI} \geq 35 \text{ kg/m}^2$) (104) zeigten sich zwar die bereits vorbeschriebenen (92) signifikant inversen Korrelationen von Parametern der körperlichen Aktivität mit dem BMI, jedoch keine signifikanten Korrelationen von Parametern der körperlichen Aktivität mit Depressivität. In einer Untersuchung zum Bewegungsverhalten adipöser Patienten (Alter 55 ± 12 Jahre; $\text{BMI} 35 \pm 5 \text{ kg/m}^2$) mit obstruktivem Schlaf-Apnoe-Syndrom (111) korrelierte die tägliche Dauer moderater oder anstrengender körperliche Aktivität ebenfalls nicht mit der Ausprägung depressiver Symptome. In einer späteren Untersuchung (112) adipöser Probanden mit einem durchschnittlichen BMI um 45 kg/m^2 (entsprechend einer Adipositas III^o) konnte zwar eine statistische Reduktion der täglichen Schrittzahl sowie der durchschnittlichen MET gegenüber nicht-adipösen, gesunden Teilnehmern (11586 ± 3731 Schritte/d; $\text{MET } 1,99 \pm 0,36$) festgestellt werden, es fand sich jedoch – vergleichbar mit unseren zuvor mitgeteilten Ergebnissen (104) – keine signifikante Reduktion der täglichen Schrittzahl sowie der durchschnittlichen MET von adipösen Teilnehmern ohne Vorliegen einer Depression (7283 ± 3547 Schritte/d; $\text{MET } 1,20 \pm 0,25$) im Vergleich zu adipösen Teilnehmern mit Depression (6177 ± 3291 Schritte/d; $\text{MET } 1,13 \pm 0,23$).

Zusammenfassend erscheint bei Patienten mit höhergradiger Adipositas die Adipositas *per se* mit einer so ausgeprägten Reduktion der körperlichen (Alltags-)Aktivität verbunden zu sein, dass zusätzlich bestehende Depressivität auf das Bewegungsverhalten allenfalls geringfügig modifizierend wirkt.

Mittelfristige Beeinflussung der Energiebilanz bei intendierter eigenständiger Gewichtsabnahme (self-directed weight loss)

Mittels anhaltender Intervention kann bei Adipositas eine nachhaltige Gewichtsreduktion erreicht werden. In der Look AHEAD-Studie (42) konnten die Typ-2-Diabetiker in der Interventionsgruppe (Alter $58,9 \pm 6,9$ Jahre, $\text{BMI } 36,0 \pm 5,8 \text{ kg/m}^2$) ihr Gewicht für die Dauer von fast einer Dekade (9,6 Jahre) relevant reduzieren. Bei initialer Gewichtsabnahme von 8,6 % gegen Ende des ersten Studienjahres betrug der Gewichtsverlust zum Studienende

6,0 % des Ausgangsgewichts. Diese zeitintensive Intervention mit Ziel der Kalorienrestriktion und Steigerung der körperlichen Aktivität beinhaltete in den ersten sechs Studienmonaten wöchentliche Einzel- oder Gruppenkontakte, in dem zweiten Studienhalbjahr drei Einzel- oder Gruppenkontakte monatlich, im zweiten bis vierten Jahr mindestens monatliche persönliche Kontakte und einen zusätzlichen Telefonkontakt und nach dem vierten Jahr fakultative monatliche persönliche Vorstellung (113). Anhaltender Gewichtsverlust war mit einer höheren Frequenz der Teilnahme an Einzel- und Gruppenschulungen, höherer körperlicher Aktivität (mittels Aktivitätsfragebogen erhoben) und günstigerer Ernährungsweise (mittels Verzehrshäufigkeitenfragebogen erhoben) assoziiert (114). Solche zeitintensiven und aufwendigen Interventionen sind nur wenigen Menschen mit Adipositas zugänglich. Jede zweite erwachsene Frau und jeder vierte erwachsene Mann beabsichtigen, eine Gewichtsreduktion zu erzielen, ganz überwiegend in Eigenständigkeit (self-directed weight loss) (115). Naturgemäß ist der Erfolg dieser Bemühungen nur eingeschränkt zu untersuchen. Wirkungsvolle Strategien zur eigenständigen Gewichtsreduktion beinhalten zumeist Kalorien- oder Fettrestriktion, regelmäßige körperliche Aktivität und regelmäßige Gewichtskontrolle (116). In einer Pilotstudie (116) war die erzielte Gewichtsabnahme in Eigenständigkeit bei den Probanden der Kontrollgruppe (Alter: $44,0 \pm 11,7$ Jahre; BMI $31,2 \pm 3,0$ kg/m²) mit $0,22 \pm 2,3$ kg nach 6 Monaten äußerst gering, in der Interventionsgruppe mit Wissensvermittlung empirisch wirksamer und selbstdurchführbarer Gewichtsreduktionsstrategien (initial 90-minütige Gruppenschulung zu Ernährung, Bewegung und Gewichtskontrolle mit Aushändigung von Informationsmaterial, Ausgabe einer Personenwaage, vereinbarter wöchentlicher postalischer Kontakt) konnten die Probanden (Alter: $44,9 \pm 10,9$ Jahre; BMI $31,1 \pm 3,2$ kg/m²) ihr Gewicht (im Vergleich zur Kontrollgruppe statistisch nicht signifikant) um $0,72 \pm 3,7$ kg reduzieren. Während eine Veränderung der Ernährungsgewohnheiten angegeben wurde und insbesondere die Frequenz der monatlichen Gewichtskontrolle in der Interventionsgruppe anstieg, war die berichtete Umsetzung der Empfehlungen zur Bewegungssteigerung gering ausgeprägt. Die Drop-out-Rate lag nach 6 Monaten für die gesamte Gruppe bei 29 %, vergleichbar mit der von Teilnehmern multimodaler Gewichtsreduktionsprogramme (117) und geringer als bei Teilnehmern an Internet-basierten Gewichtsreduktionsprogrammen (118), wobei jedoch diesbezüglich unterschiedliche Definitionen für ein Drop-out zu berücksichtigen sind.

In unserer Untersuchung zur mittelfristigen eigenständigen Gewichtsabnahme bei 160 höhergradig adipösen Patienten (Alter 41 ± 14 Jahre, BMI $43,3 \pm 8,3$ kg/m²) zeigte sich für die verbleibenden 105 Patienten nach 6 Monaten eine stärker ausgeprägte, statistisch

signifikante Gewichtsreduktion von $1,5 \pm 7,0$ kg ($p = 0,028$) bei deutlich höherem Ausgangs-BMI (105). Sowohl die 20 Patienten mit relevanter Gewichtsabnahme ($> 5\%$ des initialen Körpergewichts), die 75 Patienten mit Gewichtskonstanz und die 10 Patienten mit relevanter Gewichtszunahme ($> 5\%$ des initialen Körpergewichts) unterschieden sich nicht hinsichtlich der körperrgewichtbezogenen Aktivitätsthermogenese oder den Bewegungsmustern zu Studienbeginn. Lediglich jüngeres Alter war mit einer Gewichtszunahme im Verlauf assoziiert. In allen drei Gruppen kam es im 6-monatigen Verlauf zur Reduktion der körperrgewichtbezogenen Aktivitätsthermogenese und den Parametern der körperlichen Aktivität. Bezüglich des Ernährungsverhaltens konnte für die gesamte Gruppe eine statistisch signifikante Reduktion der Häufigkeit des Verzehrs ungünstiger Nahrungsmittel verzeichnet werden ($p = 0,019$), wobei sich zwischen den nach Gewichtsverlauf gebildeten Sub-Gruppen kein Unterschied aufzeigen ließ. Eine 6-monatige auf Veränderung des Essverhaltens und Steigerung der körperlichen Aktivität angelegte, zunächst wöchentliche und im Verlauf monatliche verhaltenstherapeutische Intervention bei Patienten mit Adipositas II° (BMI $35,2 \pm 5,3$ kg/m²) (119) parallel zur Einleitung einer CPAP (continuous positive airway pressure)-Beatmung bei ebenfalls bestehendem Schlaf-Apnoe-Syndrom führte in der Interventionsgruppe nach 6 Monaten zu einer signifikanten Gewichtsabnahme von $2,1 \pm 4,6$ kg (Kontrollgruppe: $-0,1 \pm 3,3$ kg). Die Teilnehmer in der Interventionsgruppe konnten den anteiligen Verzehr von Früchten und Fisch steigern, die Intervention führte jedoch – mit Ausnahme einer statistisch signifikanten Steigerung der täglichen Schrittzahl um 1192 ± 3262 Schritte – nicht zu einer Steigerung der mit einem Aktivitätsmonitor objektiv ermittelten körperlichen Aktivität. In einer ersten Metaanalyse (120) zur Wirksamkeit der in den letzten Jahren vermehrt zur eigenverantwortlichen Gewichtsreduktion genutzten Smart-Phone-Applikationen, die bisher zumeist unzureichend validiert sind, konnte eine geringfügige Gewichtsabnahme von 1,04 kg bei Nutzern verzeichnet werden, jedoch ohne dass diese ihre körperliche Aktivität im Verlauf statistisch signifikant steigerten.

Zusammenfassend scheint bei angestrebter eigenständiger Gewichtsreduktion oder geringer Intervention hauptsächlich das Essverhalten verändert zu werden, die Steigerung der Alltagsaktivität scheint bei höhergradiger Adipositas nicht als Strategie zur Gewichtsabnahme eingesetzt zu werden.

Zur wirkungsvollen Verbesserung der Gewichtsregulation müsste der Energieumsatz um ca. 1500-2000 kcal/Woche gesteigert werden (121) bzw. die tägliche Schrittzahl um 1800-4500

Schritte erhöht werden (122), ein Ausmaß an zusätzlicher Aktivitätsthermogenese, das nur für wenige adipöse Menschen längerfristig erreichbar erscheint (123).

Die genetischen und neurobiologischen Grundlagen der neuroendokrinen netzwerkartigen Regulation von Alltagsaktivität oder NEAT sind noch weitgehend unerforscht (109; 124). Unter anderen wird den Neuropeptiden Cholezystokinin, Corticotropin-releasing Hormon (CRH), Neuromedin U, Neuropeptid Y, Leptin, Ghrelin und den Orexinen eine tragende Rolle zugeschrieben (125). Mäuse mit Orexin A-Defizienz zeigen eine deutlich herabgesetzte spontane körperliche Aktivität (spontaneous physical activity, SPA) und nehmen erheblich an Gewicht zu (126). Hiermit in Einklang konnte für die bereits erniedrigten Plasma-Spiegel des Neuropeptids Orexin-A bei adipösen Menschen eine weitere Reduktion mit zunehmender körperlicher Inaktivität beschrieben werden (127). Auf eine biologische oder genetische Beeinflussung von körperlicher Aktivität weisen auch die präliminären Untersuchungen von Gradaschi et al. (128) bei prä- (BMI $43,3 \pm 4,4 \text{ kg/m}^2$) und postbariatrischen Patienten (BMI $33,0 \pm 5,5 \text{ kg/m}^2$) und einer bezüglich des BMI den operierten Patienten vergleichbaren Kontrollgruppe (BMI $32,7 \pm 4,4 \text{ kg/m}^2$) hin. So unterschieden sich durchschnittliche MET-Werte sowie die tägliche Dauer einer bewegungsarmen Lebensweise und leichter körperlicher Aktivität nicht signifikant zwischen prä- und postbariatrischen Patienten, wohingegen nichtoperierte Kontrollteilnehmer signifikant höhere MET-Werte aufwiesen. Es scheint sich also nach Operation das objektiv mittels Aktivitätsmonitor erhobene Bewegungsverhalten nicht demjenigen nicht operierter Kontroll-Probanden mit vergleichbarem BMI anzugleichen, sondern vielmehr wird bereits bestehendes Bewegungsverhalten fortgeführt. Diese Beobachtung konnte nachfolgend in der Untersuchung von Wilms et al. (129) für Frauen nach Magen-Bypass-Anlage bestätigt werden.

In diesem Zusammenhang ist auch die Frage des Zusammenspiels der unterschiedlichen Komponenten der Aktivitätsthermogenese interessant. In einem Review geht Melanson (130) der Frage nach, inwiefern strukturierte Bewegung (im Sinne von EAT) Auswirkungen auf den Gesamtenergieumsatz hat, da die Gewichtsabnahme von übergewichtigen oder adipösen Teilnehmern an Bewegungsprogrammen oft geringer ausfällt, als Berechnungen der Energiebilanz dies erwarten lassen (u.a. 131-133). Diese Beobachtung wird mit einer kompensatorischen Reduktion der Alltagsaktivität (im Sinne von NEAT) erklärt (109; 134). Entsprechend hat Rowland (135) den Begriff „activity stat“ eingeführt. Bei schlanken gesunden Probanden scheint diese kompensatorische Reduktion der Alltagsaktivität hingegen geringer ausgeprägt zu sein (136; 137).

Coping-Verhalten und körperliche Aktivität höhergradig adipöser Patienten vor intendierter bariatrischer Chirurgie

In unserer Untersuchung zu Coping-Verhalten und körperlicher Aktivität bei Patienten (Alter 42 ± 12 Jahre) mit höhergradiger Adipositas (9 Patienten mit Adipositas II°, 41 Patienten mit Adipositas III°, BMI 46 ± 7 kg/m²), die eine bariatrische Operation anstreben, konnten wir eine statistisch signifikante, inverse Korrelation der als problemorientiert und damit als günstig bewerteten Coping-Strategien (49) „emotionale Unterstützung (support coping)“ und „aktive Bewältigung (active coping)“ mit Parametern der körperlichen Aktivität (körpergewichtsbezogene NEAT und EAT, MET, tägliche Dauer EAT) aufzeigen (104). Diese zunächst kontraintuitiv anmutenden Befunde werden auch von Ahnis et al. (138) berichtet. Im Vergleich zu Teilnehmern eines multimodalen ambulanten Gewichtsreduktionsprogramms weisen präbariatrische Patienten höhere Score-Werte für „aktive Bewältigung (active coping)“ auf. Unter Berücksichtigung der zuvor diskutierten erheblichen Hindernisse für höhergradig adipöse Patienten bezüglich Steigerung der Aktivitätsthermogenese, könnten die Coping-Strategien „emotionale Unterstützung“ und „aktive Bewältigung“ tatsächlich funktional sein. Nämlich indem sich die eine bariatrische Operation anstrebenden Patienten auf Grund ihrer Vorerfahrungen nicht vergebens bemühen, eine für sie nicht erreichbare Steigerung der körperlichen Aktivität zur Gewichtsregulation zu erzielen. Vielmehr fokussieren sie im Sinne eines funktionalen, problemorientierten Copings auf das Erlangen der Genehmigung und Kostenübernahme für eine bariatrische Operation. Diese These wird durch die Untersuchung von Figura et al. (139) gestützt, die zum Ziel hatte, Prädiktoren für einen günstigen postoperativen Gewichtsverlauf zu identifizieren. Die präoperativ eingesetzte Coping-Strategie „aktives Coping“ war die einzige der erhobenen psychologischen Variablen (u.a. psychologische Belastungsfaktoren wie Stresserleben, Depressivität, Ängstlichkeit; Motivation zu Gewichtsabnahme), die mit einem höheren Gewichtsverlust verbunden war.

Publikationsübergreifende Limitationen

Eine zu beachtende Limitation ist die eventuell – mit zumeist mit drei Tagen – zu geringe Beobachtungsdauer des Bewegungsverhaltens. Marr und Heady (140) veranschlagen ein Minimum von 7 Tagen, um ein ausreichend repräsentatives Bild des Bewegungsverhaltens zu erhalten. Diese Empfehlung steht auch im Einklang mit der berichteten wöchentlichen

Rhythmik des Bewegungsverhaltens (106; 107). Um dieser Limitation entgegenzuwirken, ließen wir den Aktivitätsmonitor von den Studienteilnehmern vorzugsweise an zwei Wochentagen und einem Wochenendtag tragen. Weiterhin ist die Reaktivität der Studienteilnehmer beim Tragen des Aktivitätsmonitors zu berücksichtigen. Inwieweit alleine das Wissen um die Aufzeichnung der körperlichen Aktivität zu einer Veränderung derselben führt, lässt sich nur unzureichend einschätzen. Diese Reaktivität könnte insbesondere die Ergebnisse des seriellen Tragens über sechs Monate (105) beeinflusst haben. Demgegenüber steht die Erkenntnis, dass Spontanaktivität maßgeblich neurobiologisch determiniert zu sein scheint (124; 141) und von neuronalen Netzwerken gesteuert wird, die sich von denen zur Steuerung willkürlicher Bewegung unterscheiden (142).

Weiterhin ist zu beachten, dass die Bestimmung des Gesamtenergieumsatzes mittels SWA zwar validiert ist (80; 81), die Bestimmung einzelner Komponenten der Aktivitätsthermogenese bisher jedoch noch nicht ausreichend evaluiert ist. Gleichwohl stimmen die von uns berechneten Ergebnisse zur körperrgewichtbezogenen Thermogenese mit den in der Literatur verfügbaren und mit differentiellen Methoden ermittelten Werten gut überein (103).

4 Zusammenfassung

Die Prävalenz der Adipositas hat seit den 70er Jahren des vorherigen Jahrhunderts deutlich zugenommen. Derzeit ist schätzungsweise ein Drittel der Weltbevölkerung übergewichtig oder adipös. Adipositas ist mit erhöhter Morbidität und Mortalität verbunden und wird als viertwichtigster globaler Risikofaktor für vorzeitigen Tod oder durch Krankheit geprägte Lebensjahre angesehen. Ebenso weisen untergewichtige Patientinnen mit Anorexia nervosa eine erhöhte Morbidität und Mortalität auf. Beide Erkrankungen sind – neben anderen Krankheits-fördernden Faktoren – durch eine gestörte Energiebilanz von Energiezufuhr und Energieumsatz gekennzeichnet. Zur gezielten therapeutischen Interventionen ist daher die präzise Kenntnis des Energieumsatzes notwendig, dessen Bestimmung im klinischen Alltag problembehaftet ist. In unserem Arbeiten untersuchten wir zunächst die Eignung eines Aktivitätsmonitors zur Einschätzung des Ruheenergieumsatzes (REE) bei Probanden über alle Gewichtsklassen hinweg. Dieser wird bei normalgewichtigen Probanden bis hin zu Patienten mit Adipositas III° Grades unter standardisierten Bedingungen im Vergleich zur indirekten Kalorimetrie als „Goldstandard“ im Mittel um 13 % überschätzt (entsprechend 208 kcal/d). Unter ambulanten Bedingungen wird für Probanden der oben genannten Gewichtskategorien der in der ersten stabilen Schlafphase mit dem Aktivitätsmonitor ermittelte Energieumsatz im Vergleich zur Messung von REE mit indirekter Kalorimetrie unter Standardbedingungen mit 8 % (entsprechend 123 kcal/d) geringer überschätzt. Die Überlegenheit dieses Vorgehens zur Ermittlung von REE gegenüber der in der Klinik üblichen Berechnung des Ruheenergieumsatzes mittels Näherungsformeln konnte von uns gezeigt werden. Demgegenüber wird der mit dem Aktivitätsmonitor ermittelte REE unter standardisierten Bedingungen bei untergewichtigen Patientinnen mit Anorexia nervosa im Vergleich zur indirekten Kalorimetrie mit 23 % (entsprechend 187 kcal/d) erheblich überschätzt, so dass im klinischen Alltag die Berechnung des Ruheenergieumsatzes mit einer krankheitsspezifischen Näherungsformel vorzuziehen ist.

Zusätzlich zu REE und nahrungsinduzierter Thermogenese – als relativ stabile Größen – ist die variable Aktivitätsthermogenese (AT) für die Körpergewichtsregulation bedeutsam. AT kann weiter in Thermogenese durch sportliche/sportähnliche Aktivität oder durch Alltags- und Spontanaktivität differenziert werden. Wir konnten zwei relevante Veränderungen der körpergewichtsbezogenen AT mit ansteigender Ausprägung der Adipositas aufzeigen. Zunächst zeigte sich eine drastische Abnahme der Thermogenese durch sportliche/sportähnliche Aktivitäten beim Übergang von Normal-/Übergewicht (0,5 kcal/kg/d)

zur Adipositas I° (0,1 kcal/kg/d). Bei Probanden mit Adipositas II° und III° ist diese Art der Thermogenese praktisch vernachlässigbar gering. In diesen Gewichtskategorien wird Aktivitätsthermogenese (fast) gänzlich durch Alltagsaktivität bedingt. Weiterhin zeigte sich eine Reduktion der körperrgewichtbezogenen Thermogenese durch Alltagsaktivität beim Übergang der Adipositas II° zur Adipositas III°. So ist diese über die Gewichtskategorien Normal-/Übergewicht, Adipositas I° und Adipositas II° mit durchschnittlich 9,8 kcal/kg/d weitgehend konstant und fällt dann bei Patienten mit Adipositas III° drastisch auf 5,7 kcal/kg/d ab.

In einer prospektiven Untersuchung zum Bewegungsverhalten höhergradig adipöser Patienten mit dem Wunsch einer eigenständigen Gewichtsabnahme konnten wir zeigen, dass mittelfristig eine Steigerung der Aktivitätsthermogenese nicht als Strategie zum Erreichen der intendierten Gewichtsabnahme eingesetzt wird bzw. werden kann. Die genetischen und neuroendokrinen Grundlagen zur Steuerung der Thermogenese durch Alltagsaktivität sind bisher unzureichend erforscht, es wird jedoch für Menschen, die eine höhergradige Adipositas entwickelt haben, eine ausgeprägte Stabilität angenommen. In unserer Querschnittsuntersuchung zum Bewegungsverhalten höhergradig adipöser Patienten, die eine bariatrische Operation anstreben, zeigten sich zwar die bereits vorbeschriebenen signifikant inversen Korrelationen von Parametern der körperlichen Aktivität (körperrgewichtbezogene AT durch Alltagsaktivität, metabolisches Äquivalent als Maß für die Bewegungsintensität) mit dem Körpermassindex, nicht jedoch mit der psychometrisch erhobenen Depressivität. Die in der Literatur berichtete trianguläre Wechselwirkung zwischen Depressivität, Adipositas und Bewegungsverhalten konnte für diese Patienten mit höhergradiger Adipositas nicht gezeigt werden. Die Adipositas *per se* scheint mit einer so ausgeprägten Reduktion körperlicher (Alltags-)Aktivität einherzugehen, dass zusätzliche bestehende Depressivität das Bewegungsverhalten allenfalls nur noch geringfügig modifiziert. Günstige Coping-Strategien höhergradig adipöser Patienten, die eine bariatrische Operation anstreben, sind bisher unzureichend identifiziert. Für diese Patientengruppe konnten wir signifikant inverse Korrelationen der als problemorientiert interpretierten Coping-Strategien „emotionale Unterstützung“ und „aktive Bewältigung“ mit den Parametern körperlicher Aktivität (körperrgewichtbezogene AT durch Alltagsaktivität und durch sportliche/sportähnliche Aktivität, metabolisches Äquivalent als Maß für die Bewegungsintensität, tägliche Dauer sportlicher/sportähnlicher Aktivität) zeigen. Diese zunächst kontraintuitiv anmutenden Befunde könnten bei präbariatrischen Patienten tatsächlich funktional sein, so wird ein

höherer postoperativer Gewichtsverlust für diejenigen Patienten beschrieben, die präoperativ höhere Skalenwerte für „aktive Bewältigung“ erzielten.

5 Literaturverzeichnis

- (1) WHO. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation. World Health Organ Tech Rep Ser 2000; 894:1-253.
- (2) Ng M, Fleming T, Robinson M, Thomson B, Graetz N, Margono C et al. Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *Lancet* 2014; 384:766-781.
- (3) NCD Risk Factor Collaboration. Trends in adult body-mass index in 200 countries from 1975 to 2014: a pooled analysis of 1698 population-based measurement studies with 19.2 million participants. *Lancet* 2016; 387:1377-1396.
- (4) GEDA. Übergewicht und Adipositas. Faktenblatt zu GEDA 2012: Ergebnisse der Studie "Gesundheit in Deutschland aktuell 2012". http://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Gesundheitsberichterstattung/GBEDownloadsF/Geda2012/uebergewicht_adipositas.pdf.
- (5) Nyholm M, Gullberg B, Merlo J, Lundqvist-Persson C, Rastam L, Lindblad U. The validity of obesity based on self-reported weight and height: Implications for population studies. *Obesity (Silver Spring)* 2007; 15(1):197-208.
- (6) Perez A, Gabriel KP, Nehme EK, Mandell DJ, Hoelscher DM. Measuring the bias, precision, accuracy, and validity of self-reported height and weight in assessing overweight and obesity status among adolescents using a surveillance system. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2015; 12(Suppl 1):S2.
- (7) Lewis CE, Jacobs DR, Jr., McCreath H, Kiefe CI, Schreiner PJ, Smith DE et al. Weight gain continues in the 1990s: 10-year trends in weight and overweight from the CARDIA study. *Coronary Artery Risk Development in Young Adults. Am J Epidemiol* 2000; 151(12):1172-1181.
- (8) Müller MJ, Bosity-Westphal A, Heymsfield SB. Is there evidence for a set point that regulates human body weight? *F1000 Med Rep* 2010; 2:59.
- (9) Fontaine KR, Redden DT, Wang C, Westfall AO, Allison DB. Years of life lost due to obesity. *JAMA* 2003; 289(2):187-193.
- (10) Freedman DM, Ron E, Ballard-Barbash R, Doody MM, Linet MS. Body mass index and all-cause mortality in a nationwide US cohort. *Int J Obes (Lond)* 2006; 30(5):822-829.
- (11) Whitlock G, Lewington S, Sherliker P, Clarke R, Emberson J, Halsey J et al. Body-mass index and cause-specific mortality in 900 000 adults: collaborative analyses of 57 prospective studies. *Lancet* 2009; 373:1083-1096.
- (12) GBD 2015 Risk Factors Collaborators. Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990-2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet* 2016; 388:1659-1724.

- (13) Haslam DW, James WP. Obesity. *Lancet* 2005; 366:1197-1209.
- (14) Alberti KG, Zimmet P, Shaw J. The metabolic syndrome - a new worldwide definition. *Lancet* 2005; 366:1059-1062.
- (15) Borel JC, Borel AL, Monneret D, Tamsier R, Levy P, Pepin JL. Obesity hypoventilation syndrome: from sleep-disordered breathing to systemic comorbidities and the need to offer combined treatment strategies. *Respirology* 2012; 17(4):601-610.
- (16) Kyrgiou M, Kalliala I, Markozannes G, Gunter MJ, Paraskeva E, Gaba H et al. Adiposity and cancer at major anatomical sites: umbrella review of the literature. *BMJ* 2017; 356:j477.
- (17) Talmor A, Dunphy B. Female obesity and infertility. *Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol* 2015; 29(4):498-506.
- (18) Bjerkeset O, Romundstad P, Evans J, Gunnell D. Association of adult body mass index and height with anxiety, depression, and suicide in the general population: the HUNT study. *Am J Epidemiol* 2008; 167(2):193-202.
- (19) Carey VJ, Walters EE, Colditz GA, Solomon CG, Willett WC, Rosner BA et al. Body fat distribution and risk of non-insulin-dependent diabetes mellitus in women. The Nurses' Health Study. *Am J Epidemiol* 1997; 145(7):614-619.
- (20) Figueroa AL, Takx RA, MacNabb MH, Abdelbaky A, Lavender ZR, Kaplan RS et al. Relationship Between Measures of Adiposity, Arterial Inflammation, and Subsequent Cardiovascular Events. *Circ Cardiovasc Imaging* 2016; 9(4):e004043.
- (21) Duffey KJ, Popkin BM. Energy density, portion size, and eating occasions: contributions to increased energy intake in the United States, 1977-2006. *PLoS Med* 2011; 8(6):e1001050.
- (22) Nielsen SJ, Popkin BM. Patterns and trends in food portion sizes, 1977-1998. *JAMA* 2003; 289(4):450-453.
- (23) Bassett DR, Schneider PL, Huntington GE. Physical activity in an Old Order Amish community. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36(1):79-85.
- (24) Wiegand S, Krude H. [Monogenic and syndromic symptoms of morbid obesity. Rare but important]. *Internist (Berl)* 2015; 56(2):111-120.
- (25) Fierabracci P, Pinchera A, Martinelli S, Scartabelli G, Salvetti G, Giannetti M et al. Prevalence of endocrine diseases in morbidly obese patients scheduled for bariatric surgery: beyond diabetes. *Obes Surg* 2011; 21(1):54-60.
- (26) Müller HL, Bueb K, Bartels U, Roth C, Harz K, Graf N et al. Obesity after childhood craniopharyngioma - German multicenter study on pre-operative risk factors and quality of life. *Klin Padiatr* 2001; 213(4):244-249.
- (27) Cheskin LJ, Bartlett SJ, Zayas R, Twilley CH, Allison DB, Contoreggi C. Prescription medications: a modifiable contributor to obesity. *South Med J* 1999; 92(9):898-904.

- (28) Patten SB, Williams JV, Lavorato DH, Brown L, McLaren L, Eliasziw M. Major depression, antidepressant medication and the risk of obesity. *Psychother Psychosom* 2009; 78(3):182-186.
- (29) Farooqi S, O'Rahilly S. 20 years of leptin: human disorders of leptin action. *J Endocrinol* 2014; 223(1):T63-T70.
- (30) Frayling TM, Timpson NJ, Weedon MN, Zeggini E, Freathy RM, Lindgren CM et al. A common variant in the FTO gene is associated with body mass index and predisposes to childhood and adult obesity. *Science* 2007; 316:889-894.
- (31) Locke AE, Kahali B, Berndt SI, Justice AE, Pers TH, Day FR et al. Genetic studies of body mass index yield new insights for obesity biology. *Nature* 2015; 518:197-206.
- (32) Singh RK, Kumar P, Mahalingam K. Molecular genetics of human obesity: A comprehensive review. *C R Biol* 2017; 340(2):87-108.
- (33) Ludwig J, Sanbonmatsu L, Gennetian L, Adam E, Duncan GJ, Katz LF et al. Neighborhoods, obesity, and diabetes - a randomized social experiment. *N Engl J Med* 2011; 365(16):1509-1519.
- (34) Luppino FS, de Wit LM, Bouvy PF, Stijnen T, Cuijpers P, Penninx BW et al. Overweight, obesity, and depression: a systematic review and meta-analysis of longitudinal studies. *Arch Gen Psychiatry* 2010; 67(3):220-229.
- (35) Mannan M, Mamun A, Doi S, Clavarino A. Prospective Associations between Depression and Obesity for Adolescent Males and Females - A Systematic Review and Meta-Analysis of Longitudinal Studies. *PLoS One* 2016; 11(6):e0157240.
- (36) Dankel SJ, Loenneke JP, Loprinzi PD. Mild Depressive Symptoms Among Americans in Relation to Physical Activity, Current Overweight/Obesity, and Self-Reported History of Overweight/Obesity. *Int J Behav Med* 2016; 23(5):553-560.
- (37) Hryhorczuk C, Sharma S, Fulton SE. Metabolic disturbances connecting obesity and depression. *Front Neurosci* 2013; 7:177.
- (38) Goodwin RD. Association between physical activity and mental disorders among adults in the United States. *Prev Med* 2003; 36(6):698-703.
- (39) Deutsche Adipositas-Gesellschaft, Deutsche Diabetes Gesellschaft, Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Deutsche Gesellschaft für Ernährungsmedizin. Interdisziplinäre Leitlinie der Qualität S3 zur "Prävention und Therapie der Adipositas". AWMF-Register Nr.050/001. Klasse: S3. Version 2.0. http://www.adipositas-gesellschaft.de/fileadmin/PDF/Leitlinien/S3_Adipositas_Praevention_Therapie_2014.pdf.
- (40) Barry VB, Raiff BR. Weight management preferences in a non-treatment seeking sample. *Health Promot Perspect* 2013; 3(2):147-153.
- (41) Wieland LS, Falzon L, Sciamanna CN, Trudeau KJ, Folse SB, Schwartz JE et al. Interactive computer-based interventions for weight loss or weight maintenance in overweight or obese people. *Cochrane Database Syst Rev* 2012;(8):CD007675.

- (42) Wing RR, Bolin P, Brancati FL, Bray GA, Clark JM, Coday M et al. Cardiovascular effects of intensive lifestyle intervention in type 2 diabetes. *N Engl J Med* 2013; 369(2):145-154.
- (43) Torgerson JS, Hauptman J, Boldrin MN, Sjöström L. XENical in the prevention of diabetes in obese subjects (XENDOS) study: a randomized study of orlistat as an adjunct to lifestyle changes for the prevention of type 2 diabetes in obese patients. *Diabetes Care* 2004; 27(1):155-161.
- (44) Sweeting AN, Hocking SL, Markovic TP. Pharmacotherapy for the treatment of obesity. *Mol Cell Endocrinol* 2015; 418:173-183.
- (45) Pi-Sunyer X, Astrup A, Fujioka K, Greenway F, Halpern A, Krempf M et al. A Randomized, Controlled Trial of 3.0 mg of Liraglutide in Weight Management. *N Engl J Med* 2015; 373(1):11-22.
- (46) Sjöström L, Narbro K, Sjöström CD, Karason K, Larsson B, Wedel H et al. Effects of bariatric surgery on mortality in Swedish obese subjects. *N Engl J Med* 2007; 357(8):741-752.
- (47) Sjöström L, Peltonen M, Jacobson P, Sjöström CD, Karason K, Wedel H et al. Bariatric surgery and long-term cardiovascular events. *JAMA* 2012; 307(1):56-65.
- (48) Sjöström L, Peltonen M, Jacobson P, Ahlin S, Andersson-Assarsson J, Anveden A et al. Association of bariatric surgery with long-term remission of type 2 diabetes and with microvascular and macrovascular complications. *JAMA* 2014; 311(22):2297-2304.
- (49) Carver CS. You want to measure coping but your protocol's too long: consider the brief COPE. *Int J Behav Med* 1997; 4(1):92-100.
- (50) Byrne SM. Psychological aspects of weight maintenance and relapse in obesity. *J Psychosom Res* 2002; 53(5):1029-1036.
- (51) Elfhag K, Rössner S. Who succeeds in maintaining weight loss? A conceptual review of factors associated with weight loss maintenance and weight regain. *Obes Rev* 2005; 6(1):67-85.
- (52) American Psychiatric Association. *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*. 5th ed. American Psychiatric Publishing - A Division of American Psychiatric Association (London); 2013.
- (53) Rapps N, Skoda E, Zipfel S. [Anorexia nervosa as differential diagnosis in underweight patients]. *Dtsch Med Wochenschr* 2016; 141(4):261-264.
- (54) Smink FR, van Hoeken D, Hoek HW. Epidemiology of eating disorders: incidence, prevalence and mortality rates. *Curr Psychiatry Rep* 2012; 14(4):406-414.
- (55) Zipfel S, Giel KE, Bulik CM, Hay P, Schmidt U. Anorexia nervosa: aetiology, assessment, and treatment. *Lancet Psychiatry* 2015; 2(12):1099-1111.
- (56) Mehler PS, Winkelman AB, Andersen DM, Gaudiani JL. Nutritional rehabilitation: practical guidelines for refeeding the anorectic patient. *J Nutr Metab* 2010; 2010.

- (57) Khan LU, Ahmed J, Khan S, Macfie J. Refeeding syndrome: a literature review. *Gastroenterol Res Pract* 2011; 2011.
- (58) Straßburg A. Ernährungserhebungen - Methoden und Instrumente. *Ernährungs-Umschau* 2010; 57:422-430.
- (59) Tran KM, Johnson RK, Soultanakis RP, Matthews DE. In-person vs telephone-administered multiple-pass 24-hour recalls in women: validation with doubly labeled water. *J Am Diet Assoc* 2000; 100(7):777-783.
- (60) Hoidrup S, Andreasen AH, Osler M, Pedersen AN, Jorgensen LM, Jorgensen T et al. Assessment of habitual energy and macronutrient intake in adults: comparison of a seven day food record with a dietary history interview. *Eur J Clin Nutr* 2002; 56(2):105-113.
- (61) Mahabir S, Baer DJ, Giffen C, Clevidence BA, Campbell WS, Taylor PR et al. Comparison of energy expenditure estimates from 4 physical activity questionnaires with doubly labeled water estimates in postmenopausal women. *Am J Clin Nutr* 2006; 84(1):230-236.
- (62) Hibbert JM, Broemeling LD, Isenberg JN, Wolfe RR. Determinants of free-living energy expenditure in normal weight and obese women measured by doubly labeled water. *Obes Res* 1994; 2(1):44-53.
- (63) van Marken Lichtenbelt WD, Vanhomerig JW, Smulders NM, Drossaerts JM, Kemerink GJ, Bouvy ND et al. Cold-activated brown adipose tissue in healthy men. *N Engl J Med* 2009; 360(15):1500-1508.
- (64) Levine JA, Eberhardt NL, Jensen MD. Role of nonexercise activity thermogenesis in resistance to fat gain in humans. *Science* 1999; 283:212-214.
- (65) Levine JA. Non-exercise activity thermogenesis (NEAT). *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab* 2002; 16(4):679-702.
- (66) Saito M, Okamatsu-Ogura Y, Matsushita M, Watanabe K, Yoneshiro T, Nio-Kobayashi J et al. High incidence of metabolically active brown adipose tissue in healthy adult humans: effects of cold exposure and adiposity. *Diabetes* 2009; 58(7):1526-1531.
- (67) Schoeller DA, van Santen E. Measurement of energy expenditure in humans by doubly labeled water method. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 1982; 53(4):955-959.
- (68) Rising R, Whyte K, Albu J, Pi-Sunyer X. A New Whole Room Indirect Calorimeter for Measurement of the Energetics of Exercise. *J Exerc Physiol Online* 2016; 19(6):156-169.
- (69) McDoniel SO. Systematic review on use of a handheld indirect calorimeter to assess energy needs in adults and children. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2007; 17(5):491-500.

- (70) Prentice AM, Black AE, Coward WA, Cole TJ. Energy expenditure in overweight and obese adults in affluent societies: an analysis of 319 doubly-labelled water measurements. *Eur J Clin Nutr* 1996; 50(2):93-97.
- (71) Harris JA, Benedict FG. *A Biometric Study of Basal Metabolism in Man*. Washington, DC: Carnegie Institute of Washington 1919. Publ. 279.
- (72) Müller MJ, Bosy-Westphal A, Klaus S, Kreymann G, Lührmann PM, Neuhäuser-Berthold M et al. World Health Organization equations have shortcomings for predicting resting energy expenditure in persons from a modern, affluent population: generation of a new reference standard from a retrospective analysis of a German database of resting energy expenditure. *Am J Clin Nutr* 2004; 80(5):1379-1390.
- (73) Levine J, Melanson EL, Westerterp KR, Hill JO. Measurement of the components of nonexercise activity thermogenesis. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2001; 281(4):E670-E675.
- (74) Ainsworth BE, Haskell WL, Whitt MC, Irwin ML, Swartz AM, Strath SJ et al. Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32(Suppl 9):S498-S504.
- (75) Craig CL, Marshall AL, Sjöström M, Bauman AE, Booth ML, Ainsworth BE et al. International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35(8):1381-1395.
- (76) Slootmaker SM, Schuit AJ, Chinapaw MJ, Seidell JC, van Mechelen W. Disagreement in physical activity assessed by accelerometer and self-report in subgroups of age, gender, education and weight status. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2009; 6:17.
- (77) Tudor-Locke C, Williams JE, Reis JP, Pluto D. Utility of pedometers for assessing physical activity: convergent validity. *Sports Med* 2002; 32(12):795-808.
- (78) Tharion WJ, Yokota M, Buller MJ, DeLany JP, Hoyt RW. Total energy expenditure estimated using a foot-contact pedometer. *Med Sci Monit* 2004; 10(9):CR504-CR509.
- (79) Welk GJ, McClain JJ, Eisenmann JC, Wickel EE. Field validation of the MTI Actigraph and BodyMedia armband monitor using the IDEEA monitor. *Obesity (Silver Spring)* 2007; 15(4):918-928.
- (80) Mignault D, St-Onge M, Karelis AD, Allison DB, Rabasa-Lhoret R. Evaluation of the Portable HealthWear Armband: a device to measure total daily energy expenditure in free-living type 2 diabetic individuals. *Diabetes Care* 2005; 28(1):225-227.
- (81) St-Onge M, Mignault D, Allison DB, Rabasa-Lhoret R. Evaluation of a portable device to measure daily energy expenditure in free-living adults. *Am J Clin Nutr* 2007; 85(3):742-749.
- (82) Thompson D, Karpe F, Lafontan M, Frayn K. Physical activity and exercise in the regulation of human adipose tissue physiology. *Physiol Rev* 2012; 92(1):157-191.
- (83) Bland JM, Altman DG. Comparing methods of measurement: why plotting difference against standard method is misleading. *Lancet* 1995; 346:1085-1087.

- (84) Haas V, Onur S, Paul T, Nutzinger DO, Bosity-Westphal A, Hauer M et al. Leptin and body weight regulation in patients with anorexia nervosa before and during weight recovery. *Am J Clin Nutr* 2005; 81(4):889-896.
- (85) Van Wymelbeke V, Brondel L, Brun JM, Rigaud D. Factors associated with the increase in resting energy expenditure during refeeding in malnourished anorexia nervosa patients. *Am J Clin Nutr* 2004; 80(6):1469-1477.
- (86) Cuerda C, Ruiz A, Velasco C, Breton I, Camblor M, Garcia-Peris P. How accurate are predictive formulas calculating energy expenditure in adolescent patients with anorexia nervosa? *Clin Nutr* 2007; 26(1):100-106.
- (87) Scalfi L, Marra M, De Filippo E, Caso G, Pasanisi F, Contaldo F. The prediction of basal metabolic rate in female patients with anorexia nervosa. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2001; 25(3):359-364.
- (88) Bines JE, Truby HD. Measurement of resting energy expenditure in infants. *J Paediatr Child Health* 2004; 40(7):380-383.
- (89) Spitzer RL, Kroenke K, Williams JB. Validation and utility of a self-report version of PRIME-MD: the PHQ primary care study. Primary Care Evaluation of Mental Disorders. Patient Health Questionnaire. *JAMA* 1999; 282(18):1737-1744.
- (90) Wyatt HR, Peters JC, Reed GW, Barry M, Hill JO. A Colorado statewide survey of walking and its relation to excessive weight. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37(5):724-730.
- (91) Elbelt U, Haas V, Hofmann T, Stengel A, Berger H, Jeran S et al. Evaluation of a Portable Armband Device to Assess Resting Energy Expenditure in Patients With Anorexia Nervosa. *Nutr Clin Pract* 2016; 31(3):362-367.
- (92) Elbelt U, Schuetz T, Hoffmann I, Pirlich M, Strasburger CJ, Lochs H. Differences of energy expenditure and physical activity patterns in subjects with various degrees of obesity. *Clin Nutr* 2010; 29(6):766-772.
- (93) Papazoglou D, Augello G, Tagliaferri M, Savia G, Marzullo P, Maltezos E et al. Evaluation of a multisensor armband in estimating energy expenditure in obese individuals. *Obesity (Silver Spring)* 2006; 14(12):2217-2223.
- (94) Bertoli S, Posata A, Battezzati A, Spadafranca A, Testolin G, Bedogni G. Poor agreement between a portable armband and indirect calorimetry in the assessment of resting energy expenditure. *Clin Nutr* 2008; 27(2):307-310.
- (95) El Ghoch M, Alberti M, Capelli C, Calugi S, Battistini NC, Pellegrini M et al. Resting energy expenditure assessment in anorexia nervosa: comparison of indirect calorimetry, a multisensor monitor and the Müller equation. *Int J Food Sci Nutr* 2012; 63(7):796-801.
- (96) Elbelt U, Schuetz T, Lochs H. Estimating resting energy expenditure with a portable armband device in an ambulatory setting. *Nutr Clin Pract* 2012; 27(6):825-831.
- (97) Goldberg GR, Prentice AM, Davies HL, Murgatroyd PR. Overnight and basal metabolic rates in men and women. *Eur J Clin Nutr* 1988; 42(2):137-144.

- (98) Tudor-Locke C. Physical Activity and Obesity. In: Ainsworth BE, Macera CA, editors. *Physical Activity and Public Health Practice*. CRC Press; 2012. p. 167-177.
- (99) Prince SA, Adamo KB, Hamel ME, Hardt J, Connor GS, Tremblay M. A comparison of direct versus self-report measures for assessing physical activity in adults: a systematic review. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2008; 5:56.
- (100) Simpson ME, Serdula M, Galuska DA, Gillespie C, Donehoo R, Macera C et al. Walking trends among U.S. adults: the Behavioral Risk Factor Surveillance System, 1987-2000. *Am J Prev Med* 2003; 25(2):95-100.
- (101) Buehler R, Pucher J, Merom D, Bauman A. Active travel in Germany and the U.S. Contributions of daily walking and cycling to physical activity. *Am J Prev Med* 2011; 41(3):241-250.
- (102) Hutchinson J, White PC, Graham H. Differences in the social patterning of active travel between urban and rural populations: findings from a large UK household survey. *Int J Public Health* 2014; 59(6):993-998.
- (103) Levine JA, Lanningham-Foster LM, McCrady SK, Krizan AC, Olson LR, Kane PH et al. Interindividual variation in posture allocation: possible role in human obesity. *Science* 2005; 307:584-586.
- (104) Elbelt U, Ahnis A, Riedl A, Burkert S, Schuetz T, Ordemann J et al. Associations of physical activity with depressiveness and coping in subjects with high-grade obesity aiming at bariatric surgery: a cross-sectional study. *Biopsychosoc Med* 2015; 9:16.
- (105) Elbelt U, Schuetz T, Knoll N, Burkert S. Self-Directed Weight Loss Strategies: Energy Expenditure Due to Physical Activity Is Not Increased to Achieve Intended Weight Loss. *Nutrients* 2015; 7(7):5868-5888.
- (106) Scheers T, Philippaerts R, Lefevre J. Patterns of physical activity and sedentary behavior in normal-weight, overweight and obese adults, as measured with a portable armband device and an electronic diary. *Clin Nutr* 2012; 31(5):756-64.
- (107) Hansen BH, Holme I, Anderssen SA, Kolle E. Patterns of objectively measured physical activity in normal weight, overweight, and obese individuals (20-85 years): a cross-sectional study. *PLoS One* 2013; 8(1):e53044.
- (108) Wanner M, Martin BW, Autenrieth CS, Schaffner E, Meier F, Brombach C et al. Associations between domains of physical activity, sitting time, and different measures of overweight and obesity. *Prev Med Rep* 2016; 3:177-184.
- (109) Westerterp KR. Physical activity and physical activity induced energy expenditure in humans: measurement, determinants, and effects. *Front Physiol* 2013; 4:90.
- (110) Mannan M, Mamun A, Doi S, Clavarino A. Is there a bi-directional relationship between depression and obesity among adult men and women? Systematic review and bias-adjusted meta analysis. *Asian J Psychiatr* 2016; 21:51-66.
- (111) Igelström H, Emtner M, Lindberg E, Asenlöf P. Physical activity and sedentary time in persons with obstructive sleep apnea and overweight enrolled in a randomized

- controlled trial for enhanced physical activity and healthy eating. *Sleep Breath* 2013; 17(4):1257-1266.
- (112) Sander C, Ueck P, Mergl R, Gordon G, Hegerl U, Himmerich H. Physical activity in depressed and non-depressed patients with obesity. *Eat Weight Disord* 2017. doi: 10.1007/s40519-016-0347-8.
- (113) Wadden TA, West DS, Delahanty L, Jakicic J, Rejeski J, Williamson D et al. The Look AHEAD study: a description of the lifestyle intervention and the evidence supporting it. *Obesity (Silver Spring)* 2006; 14(5):737-752.
- (114) Wadden TA, Neiberg RH, Wing RR, Clark JM, Delahanty LM, Hill JO et al. Four-year weight losses in the Look AHEAD study: factors associated with long-term success. *Obesity (Silver Spring)* 2011; 19(10):1987-1998.
- (115) Serdula MK, Mokdad AH, Williamson DF, Galuska DA, Mendlein JM, Heath GW. Prevalence of attempting weight loss and strategies for controlling weight. *JAMA* 1999; 282(14):1353-1358.
- (116) Linde JA, Jeffery RW. Testing a brief self-directed behavioral weight control program. *Behav Med* 2011; 37(2):47-53.
- (117) Ahnis A, Riedl A, Figura A, Steinhagen-Thiessen E, Liebl ME, Klapp BF. Psychological and sociodemographic predictors of premature discontinuation of a 1-year multimodal outpatient weight-reduction program: an attrition analysis. *Patient Prefer Adherence* 2012; 6:165-177.
- (118) Postrach E, Aspalter R, Elbelt U, Koller M, Longin R, Schulzke JD et al. Determinants of successful weight loss after using a commercial web-based weight reduction program for six months: cohort study. *J Med Internet Res* 2013; 15(10):e219.
- (119) Igelström H, Emtner M, Lindberg E, Asenlöf P. Tailored behavioral medicine intervention for enhanced physical activity and healthy eating in patients with obstructive sleep apnea syndrome and overweight. *Sleep Breath* 2014; 18(3):655-668.
- (120) Mateo GF, Granado-Font E, Ferre-Grau C, Montana-Carreras X. Mobile Phone Apps to Promote Weight Loss and Increase Physical Activity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Med Internet Res* 2015; 17(11):e253.
- (121) Fogelholm M, Kukkonen-Harjula K. Does physical activity prevent weight gain - a systematic review. *Obes Rev* 2000; 1(2):95-111.
- (122) Richardson CR, Newton TL, Abraham JJ, Sen A, Jimbo M, Swartz AM. A meta-analysis of pedometer-based walking interventions and weight loss. *Ann Fam Med* 2008; 6(1):69-77.
- (123) Thomas JG, Bond DS, Phelan S, Hill JO, Wing RR. Weight-loss maintenance for 10 years in the National Weight Control Registry. *Am J Prev Med* 2014; 46(1):17-23.
- (124) Garland T, Jr., Schutz H, Chappell MA, Keeney BK, Meek TH, Copes LE et al. The biological control of voluntary exercise, spontaneous physical activity and daily

- energy expenditure in relation to obesity: human and rodent perspectives. *J Exp Biol* 2011; 214:206-229.
- (125) Kotz CM, Teske JA, Billington CJ. Neuroregulation of nonexercise activity thermogenesis and obesity resistance. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2008; 294(3):R699-R710.
- (126) Hara J, Beuckmann CT, Nambu T, Willie JT, Chemelli RM, Sinton CM et al. Genetic ablation of orexin neurons in mice results in narcolepsy, hypophagia, and obesity. *Neuron* 2001; 30(2):345-354.
- (127) Hao YY, Yuan HW, Fang PH, Zhang Y, Liao YX, Shen C et al. Plasma orexin-A level associated with physical activity in obese people. *Eat Weight Disord* 2017; 22(1):69-77.
- (128) Gradaschi R, Camerini G, Carlini F, Sukkar S, Sopinaro N, Adami GF. Physical activity after surgically obtained weight loss: study with a SenseWear armband in subjects undergoing biliopancreatic diversion. *Obes Surg* 2014; 24(2):260-265.
- (129) Wilms B, Ernst B, Thurnheer M, Schultes B. Subjective and objective physical activity patterns after Roux-en Y gastric bypass surgery compared with non-operated obese and non-obese control women. *Obes Res Clin Pract* 2016; 10(1):49-55.
- (130) Melanson EL. The effect of exercise on non-exercise physical activity and sedentary behavior in adults. *Obes Rev* 2017; 18(Suppl 1):40-49.
- (131) Di Blasio A, Ripari P, Bucci I, Di Donato F, Izzicupo P, D'Angelo E et al. Walking training in postmenopause: effects on both spontaneous physical activity and training-induced body adaptations. *Menopause* 2012; 19(1):23-32.
- (132) Herrmann SD, Willis EA, Honas JJ, Lee J, Washburn RA, Donnelly JE. Energy intake, nonexercise physical activity, and weight loss in responders and nonresponders: The Midwest Exercise Trial 2. *Obesity (Silver Spring)* 2015; 23(8):1539-1549.
- (133) Schoeller DA. The energy balance equation: looking back and looking forward are two very different views. *Nutr Rev* 2009; 67(5):249-254.
- (134) Melanson EL, Keadle SK, Donnelly JE, Braun B, King NA. Resistance to exercise-induced weight loss: compensatory behavioral adaptations. *Med Sci Sports Exerc* 2013; 45(8):1600-1609.
- (135) Rowland TW. The biological basis of physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30(3):392-399.
- (136) Whybrow S, Hughes DA, Ritz P, Johnstone AM, Horgan GW, King N et al. The effect of an incremental increase in exercise on appetite, eating behaviour and energy balance in lean men and women feeding ad libitum. *Br J Nutr* 2008; 100(5):1109-1115.
- (137) McLaughlin R, Malkova D, Nimmo MA. Spontaneous activity responses to exercise in males and females. *Eur J Clin Nutr* 2006; 60(9):1055-1061.

- (138) Ahnis A, Figura A, Hofmann T, Stengel A, Elbelt U, Klapp BF. Surgically and conservatively treated obese patients differ in psychological factors, regardless of body mass index or obesity-related co-morbidities: a comparison between groups and an analysis of predictors. *PLoS One* 2015; 10(2):e0117460.
- (139) Figura A, Ahnis A, Stengel A, Hofmann T, Elbelt U, Ordemann J et al. Determinants of Weight Loss following Laparoscopic Sleeve Gastrectomy: The Role of Psychological Burden, Coping Style, and Motivation to Undergo Surgery. *J Obes* 2015; 2015:626010.
- (140) Marr JW, Heady JA. Within- and between-person variation in dietary surveys: number of days needed to classify individuals. *Hum Nutr Appl Nutr* 1986; 40(5):347-364.
- (141) Zurlo F, Ferraro RT, Fontvielle AM, Rising R, Bogardus C, Ravussin E. Spontaneous physical activity and obesity: cross-sectional and longitudinal studies in Pima Indians. *Am J Physiol* 1992; 263:E296-E300.
- (142) Kotz C, Nixon J, Butterick T, Perez-Leighton C, Teske J, Billington C. Brain orexin promotes obesity resistance. *Ann N Y Acad Sci* 2012; 1264:72-86.

6 Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei allen an den Forschungsprojekten beteiligten Mitarbeitern für die kollegiale Zusammenarbeit bedanken, die häufig auch zu freundschaftlicher Verbundenheit führte. Namentlich danke ich Prof. Dr. Stefanie Hahner aus der Würzburger Arbeitsgruppe, mit der ich Patienten mit polyglandulärem Autoimmunsyndrom untersuchen durfte, und weiterhin Dr. Tatjana Schütz, die maßgeblich an den hier vorgestellten Arbeiten beteiligt war. Ebenso möchte ich Dr. Silke Burkert, Prof. Dr. Nina Knoll, Dr. Verena Haas und Prof. Dr. Kristina Norman danken. Den Kolleginnen und Kollegen aus der Medizinischen Klinik mit Schwerpunkt Psychosomatik Dr. Tobias Hofmann, PD Dr. Andreas Stengel, Dr. Anne Ahnis sowie Prof. Dr. Jürgen Ordemann aus der Chirurgischen Klinik gilt besonderer Dank. Für die Kooperation bei der Charakterisierung von Patienten mit primärer makronodulärer adrenaler Hyperplasie bedanke ich mich herzlich bei Dr. Alessia Trovato, Dr. Michael Kloth, Prof. Reinhard Büttner und Prof. Jochen Schneider. Für die Beteiligung an Untersuchungen zum Krankheitsbild der Hypophysitis bedanke ich mich herzlich bei Prof. Dr. Jürgen Honegger.

Für die Unterstützung möchte ich mich bei den Klinikdirektoren Prof. Dr. Herbert Lochs, Prof. Dr. Martin Zeitz, Prof. Dr. Burghard Klapp, Prof. Dr. Matthias Rose und Prof. Dr. Joachim Spranger bedanken. Sie alle ermöglichten mir meine Tätigkeit in dem interessanten Arbeitsumfeld aus Klinik, Lehre und Wissenschaft. An dieser Stelle möchte ich auch Prof. Dr. Christian Strasburger herzlichen danken, der mir vor knapp 10 Jahren den Wechsel an die Charité – Universitätsmedizin Berlin ermöglichte.

Abschließend gilt mein besonderer Dank Prof. Dr. Bruno Allolio, der meine internistische Ausbildung maßgeblich geprägt hat, mich in Würzburg zum Endokrinologen weiterbildete, mein Interesse für die wissenschaftliche Bearbeitung klinischer Fragestellungen weckte und mir menschlich und fachlich Vorbild ist. Herzlichen Dank für Deine wohlwollende, stetige Begleitung meines beruflichen Lebens. Leider kann Bruno diesen Dank nicht mehr entgegennehmen.

7 Eidesstattliche Erklärung

Erklärung

§ 4 Abs. 3 (k) der HabOMed der Charité

Hiermit erkläre ich, dass

- weder früher noch gleichzeitig ein Habilitationsverfahren durchgeführt oder angemeldet wurde,
- die vorgelegte Habilitationsschrift ohne fremde Hilfe verfasst, die beschriebenen Ergebnisse selbst gewonnen sowie die verwendeten Hilfsmittel, die Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftlern/Wissenschaftlerinnen und mit technischen Hilfskräften sowie die verwendete Literatur vollständig in der Habilitationsschrift angegeben wurden,
- mir die geltende Habilitationsordnung bekannt ist.

Ich erkläre ferner, dass mir die Satzung der Charité - Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis bekannt ist und ich mich zur Einhaltung dieser Satzung verpflichte.

Datum

Unterschrift (Ulf Elbelt)