

Aus dem Interdisziplinären Adipositas-Zentrum des Kantonsspitals St. Gallen,
Schweiz, in Zusammenarbeit mit der Medizinischen Klinik 1 der Universität zu
Lübeck, Deutschland

Direktor: Professor Dr. med. Hendrik Lehnert

**Energieverbrauchsmessung und sportmotorische
Leistungsfähigkeit bei Adipositas und nach bariatrischer
Chirurgie**

Inauguraldissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der Universität zu Lübeck

-Aus der Sektion Medizin-

vorgelegt von

Rahel Waldburger

aus Aarau, Schweiz

Lübeck 2014

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Bernd Schultes
2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Dr. h. c. (BSMU) Peter Sterk

Tag der mündlichen Prüfung: 27.11.2014

zum Druck genehmigt. Lübeck, den 27.11.2014

-Promotionskommission der Sektion Medizin-

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	1
1.1 Entstehung und Auswirkungen der Adipositas	1
1.2 Behandlungsmethoden der Adipositas	1
1.3 Bariatrische Chirurgie	2
1.4 Fragestellung dieser Arbeit	4
2. Methoden	5
2.1 Analyse des klinischen Datensatzes	5
2.1.1 Anthropometrie	5
2.1.2 Körperzusammensetzung und indirekte Kalorimetrie	5
2.1.3 SenseWear Armband	6
2.1.4 Blutuntersuchungen	7
2.1.5 Spiroergometrie	7
2.2 Prospektive Bewegungsstudie	8
2.2.1 Kardiopulmonale Fitness	9
2.2.2 Beweglichkeit, Schnelligkeit und Gleichgewichtsfähigkeit	9
2.2.3 Isometrische Maximalkraft	10
2.2.4 Energieverbrauchsmessungen	11
2.3 Statistik	11
3. Ergebnisse	13
3.1 Wie ist die Messgenauigkeit des SenseWear Pro 3 Armband TM bezüglich Ruheenergieverbrauch im Vergleich zur indirekten Kalorimetrie bei adipösen Erwachsenen?	13
3.1.1 Einleitung	13
3.1.2 Methode	14
3.1.3 Ergebnisse	16
3.1.4 Zusammenfassung	22
3.2 Wie ist die Messgenauigkeit des SenseWear Pro 3 Armband TM bezüglich Aktivitäts-Energieverbrauch im Vergleich zur indirekten Kalorimetrie bei schwer adipösen, leicht adipösen und nicht-adipösen Frauen?	23
3.2.1 Einleitung	23
3.2.2 Methode	23
3.2.3 Ergebnisse	24

3.2.4 Zusammenfassung.....	31
3.3 Gibt es einen Zusammenhang zwischen kardiorespiratorischer Fitness und dem kardiometabolischen Risikoprofil schwer adipöser Frauen und Männer?	32
3.3.1 Einleitung	32
3.3.2 Methode	33
3.3.3 Ergebnisse Frauen	33
3.3.4 Ergebnisse Männer	40
3.3.5 Zusammenfassung.....	44
3.4 Inwiefern unterscheiden sich schwer adipöse von nicht-adipösen Personen in ihrer sportmotorischen Leistungsfähigkeit?.....	45
3.4.1 Einleitung	45
3.4.2 Methode	46
3.4.3 Ergebnisse	46
3.4.4 Zusammenfassung.....	57
3.5 Zeigen schwer adipöse Personen drei Monate nach bariatrischer Chirurgie eine Veränderung in ihrer sportmotorischen Leistungsfähigkeit? Inwiefern unterscheiden sie sich nach der Operation von nicht-adipösen Personen?	58
3.5.1 Einleitung	58
3.5.2 Methode	58
3.5.3 Ergebnisse	59
3.5.4 Zusammenfassung.....	66
4. Diskussion.....	67
4.1 Energieverbrauchsmessungen mittels SWA in Ruhe und Aktivität.....	67
4.2 Kardiorespiratorische Fitness als Determinante kardiometabolischer Risikofaktoren	71
4.3 Sportmotorische Fähigkeiten bei Adipositas und nach chirurgisch induziertem Gewichtsverlust.....	73
5. Zusammenfassung	80
6. Literaturverzeichnis.....	81
7. Anhang	93
8. Danksagung	105
9. Lebenslauf.....	106

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AEE	Aktivitäts-Energieverbrauch (activity related energy expenditure)
AT	Anaerobe Schwelle
BIA	Bioelektrische Impedanzanalyse
BMI	Body Mass Index
Chol	Gesamt-Cholesterin
EE	Energieverbrauch (energy expenditure)
FFM	Fettfreie Masse
FM	Fettmasse
GE	Wirkungsgrad (gross efficiency)
HB	Harris & Benedict
HbA1c	Glykohämoglobin
HDL	high-density Lipoprotein
HF	Herzfrequenz
HOMA	Homeostasis Model Assessment
IC	Indirekte Kalorimetrie
KG	Körpergewicht
LDL	low-density Lipoprotein
MW	Mittelwert
n	Anzahl
p	Signifikanzniveau
PAL	Körperlicher Aktivitätslevel (physical activity level)
PI	metabolic power input
r	Korrelationskoeffizient
REE	Ruheenergieverbrauch (resting energy expenditure)
RPE	Grad des subjektiven Belastungsempfindens (rate of perceived exertion)
RQ	Respiratorischer Quotient
SAD	Abdominaler Sagittal Diameter (sagittal abdominal diameter)
SD	Standardabweichung
SPPB	Short Physical Performance Battery
SWA	SenseWear Pro 3 Armband™
TEE	Gesamtenergieverbrauch (total energy expenditure)
TG	Triglyceride

TUG	“Timed up and go” Test
VCO ₂	Kohlendioxidabgabe
VO ₂	Sauerstoffaufnahme
vs	versus
WHO	World Health Organization
WHR	Taille-Hüft-Quotient (waist-to-hip ratio)

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abbildung 1.** A: Adjustierbares Magenband; B: Schlauchmagen (gastric sleeve resection); C: Biliopankreatische Diversion (BPD) – Hier in Form eines Duodenal switch (DS) kombiniert mit einem Schlauchmagen; D: Roux-en Y Magenbypass (aus 27) 3
- Abbildung 2.** Multi-sensor SenseWear Pro 3 Armband™ 7
- Abbildung 3.** Sportmotorische Tests der Bewegungsstudie. 10
- Abbildung 4.** Beziehung zwischen dem Ruheenergieverbrauch gemessen mit der indirekten Kalorimetrie und dem multi-sensor SenseWear Pro 3 Armband™, erhoben in 188 adipösen Frauen (schwarze Kreise; Strich-Punkt-Punkt-Regressionslinie) und 76 adipösen Männern (weisse Kreise, durchgezogene Regressionslinie). Die gepunktete Linie zeigt die Identitätslinie. Die gestrichelten Linien zeigen die Abweichungen von $\pm 10\%$, $\pm 20\%$ und $\pm 30\%$ des REE-SWA vom REE-IC. r- und p-Werte stammen aus Pearson's Regressionsanalysen. 18
- Abbildung 5.** Bland Altman Regression der Differenz zwischen dem Ruheenergieverbrauch gemessen mit der indirekten Kalorimetrie und mit dem multi-sensor SenseWear Pro 3 Armband™, erhoben in 188 adipösen Frauen (links, schwarze Kreise) und 76 adipösen Männern (rechts, weisse Kreise). Die durchgezogene vertikale Linie bedeutet Mittelwert REE-IC; die gestrichelte vertikale Linie bedeutet Mittelwert REE-SWA. Differenz = REE-SWA – REE-IC; kcal/d; Mittelwert = $0.5 \cdot (\text{REE-IC} + \text{REE-SWA})$; kcal/d. r- und p-Werte stammen aus Pearson's Regressionsanalysen. 19
- Abbildung 6.** A: Aktivitäts-Energieverbrauch gemessen mit der IC und mit dem SWA, aufgeteilt in die verschiedenen BMI-Gruppen und Laufband-Stufen. Weisse Balken zeigen AEE-IC, schwarze Balken zeigen AEE-SWA. B: Differenz des Energieverbrauchs gemessen mit der IC und mit dem SWA (AEE-SWA – AEE-IC). Daten liegen für 11 leicht adipöse Frauen für die 6 km/h Stufe vor, für 31 schwer adipöse Frauen für die 4 km/h Stufe, für 29 respektive 19 schwer adipöse Frauen für die 5 km/h respektive 6 km/h Stufe. Die Balken sind Mittelwert \pm Standardabweichung. ** p < 0.01, *** p < 0.001 für den gepaarten Student's t-Test. 26
- Abbildung 7.** A: Beziehung zwischen dem Aktivitäts-Energieverbrauch gemessen mit der IC und mit dem SWA. Die durchgezogene Linie zeigt die Identitätslinie. B: Bland Altman Regression der Differenz zwischen dem Energieverbrauch gemessen mit der IC und mit dem SWA. Die gepunktete vertikale Linie bedeutet Mittelwert AEE-IC; die gestrichelte vertikale Linie bedeutet Mittelwert AEE-SWA; I = nicht-adipöse Frauen, II = leicht adipöse Frauen, III = schwer adipöse Frauen. Die horizontale Linie zeigt die 0-Linie. Differenz = AEE-SWA – AEE-IC; kcal/min; Mittelwert = $0.5 \cdot (\text{AEE-IC} + \text{AEE-SWA})$; kcal/min. Quadrate = 33 schwer adipöse Frauen, Dreiecke = 12 leicht adipöse Frauen, Kreise = 25 nicht-adipöse Frauen. Daten liegen für 11 leicht adipöse Frauen für die 6 km/h Stufe vor, für 31 schwer adipöse Frauen für die 4 km/h Stufe, für 29 respektive 19 schwer adipöse Frauen

für die 5 km/h respektive 6 km/h Stufe. r- und p-Werte stammen aus Pearson's Regressionsanalysen. 28

Abbildung 8. Vergleich der kardiometabolischen Risikomarker zwischen den vier kardiorespiratorischen Fitness-Gruppen aufgeteilt in die VO₂-peak Quartile. Alle Daten sind Mittelwert ± SD. QI = Quartil I (0-<25); QII = Quartil II (25-<50); QIII = Quartil III (50-<75); QIV = Quartil IV (≥75). Für die Analysen von Glukose, Insulin, HOMA, und HbA1c sind Patienten mit Diabetesmedikamenten ausgeschlossen. Für die Analysen von TG, Chol, LDL, HDL, und Chol/HDL-Quotient sind Patienten mit lipidsenkenden Medikamenten ausgeschlossen. P-Werte stammen aus der ANOVA. Die Zahl in den Balken gibt die Anzahl der untersuchten Patienten an. a = signifikant verschieden von QI; b = signifikant verschieden von QII..... 38

Abbildung 9. Vergleich der kardiometabolischen Risikomarker zwischen den vier kardiorespiratorischen Fitness-Gruppen aufgeteilt in die Watt-peak Quartile. Alle Daten sind Mittelwert ± SD. QI = Quartil I (0-<25); QII = Quartil II (25-<50); QIII = Quartil III (50-<75); QIV = Quartil IV (≥75). Für die Analysen von Glukose, Insulin, HOMA, und HbA1c sind Patienten mit Diabetesmedikamenten ausgeschlossen. Für die Analysen von TG, Chol, LDL, HDL, und Chol/HDL-Quotient sind Patienten mit lipidsenkenden Medikamenten ausgeschlossen. P-Werte stammen aus der ANOVA. Die Zahl in den Balken gibt die Anzahl der untersuchten Patienten an. a = signifikant verschieden von QI; b = signifikant verschieden von QII..... 39

Abbildung 10. Resultate der multiplen schrittweisen linearen Regressionsanalysen (erklärte Varianzen, R² in Prozent) mit Alter, Gewicht, Grösse und Raucherstatus als unabhängige Variable. Für HbA1c sind Patienten mit Diabetesmedikamenten von der Analyse ausgeschlossen. Für TG, Chol, LDL und Chol/HDL-Quotient sind Patienten mit lipidsenkenden Medikamenten von der Analyse ausgeschlossen..... 43

Abbildung 11. Resultate folgender Tests: Schulterbeweglichkeit (A), timed lying to standing (B), und Balancieren (weite Begrenzung, C; enge Begrenzung, D) der adipösen Gruppe vor und drei Monate nach bariatrischer Chirurgie sowie der nicht-adipösen Kontrollgruppe. Daten sind Mittelwert ± Standardfehler. *p < 0.05, **p < 0.01, ***p < 0.001 für die gepaarten und ungepaarten t-Tests. C: Daten sind für 23 adipöse und 28 nicht-adipöse Probanden vorhanden. D: Daten sind für 17 adipöse und 25 nicht-adipöse Probanden vorhanden. 62

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1. Etablierte REE-Prädiktionsformeln	15
Tabelle 2. Klinische Charakteristik der Studiengruppe mit REE-Messungen	16
Tabelle 3. REE Daten erhoben mit IC, SWA und Prädiktionsformeln	17
Tabelle 4. Abweichung der REE Daten erhoben mit dem SWA und den vier Prädiktionsformeln von den REE Daten gemessen mit der indirekten Kalorimetrie	21
Tabelle 5. Anthropometrische Daten der Studiengruppe mit AEE-Messungen	24
Tabelle 6. Korrelations- und Bland Altman- Analysen.....	27
Tabelle 7. Abweichung des AEE erhoben mit dem SWA vom AEE gemessen mit der IC in Prozenten	30
Tabelle 8. Anthropometrische und metabolische Charakteristik der adipösen Frauen mit Spiroergometrie	34
Tabelle 9. Kardiorespiratorische Fitness Indizes der adipösen Frauen	35
Tabelle 10. Anthropometrische und metabolische Charakteristik der adipösen Männer mit Spiroergometrie	40
Tabelle 11. Kardiorespiratorische Fitness Indizes der adipösen Männer	41
Tabelle 12. Anthropometrische Daten und Körperzusammensetzung der Probanden aus der Bewegungsstudie	48
Tabelle 13. Beweglichkeit, Schnelligkeit und Gleichgewichtsfähigkeit der Studiengruppe	50
Tabelle 14. Absolute und relative isometrische Maximalkraft der Studiengruppe.....	52
Tabelle 15. Kardiopulmonale Fitness der Studiengruppe	55
Tabelle 16. Anthropometrische Daten und Körperzusammensetzung der Adipösen prä- und postoperativ sowie der Nicht-adipösen.....	60
Tabelle 17. Absolute und relative isometrische Maximalkraft der Adipösen prä- und postoperativ sowie der Nicht-adipösen.....	64

1. Einleitung

1.1 Entstehung und Auswirkungen der Adipositas

Obwohl es heute Anzeichen gibt, dass der Anstieg in der Prävalenz der Adipositas in der westlichen Welt stagniert, ist die Zahl der adipösen Menschen in den USA mit 35.8 % auf einem sehr hohen Niveau (32). Die Ursachen der Adipositas liegen in einer positiven Energiebilanz, was einer zu hohen Kalorienaufnahme gleichkommt, sowie einem überwiegend sitzenden Lebensstil (63;76;96). Adipositas geht mit einem erhöhten Risiko für verschiedene Krankheiten einher, so zum Beispiel Typ 2 Diabetes mellitus, Bluthochdruck, kardiovaskuläre Krankheiten und verschiedene Krebserkrankungen (11;33;84). Schwer adipöse Personen zeigen oft eine reduzierte kardiopulmonale Fitness (58). Eine reduzierte körperliche Aktivität, welche häufig mit einer schwachen kardiopulmonalen Fitness assoziiert wird, erhöht ebenfalls das Risiko für diverse Erkrankungen und einen frühzeitigen Tod (56;77). Aus diversen Befragungen geht hervor, dass Adipositas sich negativ auswirkt auf die motorische Leistungsfähigkeit und damit zu einer Einschränkung in der Bewältigung des Alltags und der Lebensqualität führt (31;39;44;121). Ob eine objektiv messbare Einschränkung der motorischen Leistungsfähigkeit bei adipösen Erwachsenen tatsächlich vorhanden ist, ist jedoch bislang weitgehend ungeklärt.

1.2 Behandlungsmethoden der Adipositas

Eine Strategie zur Behandlung der Adipositas ist die konservative Therapie, die einerseits am Bewegungs-, und andererseits am Ernährungsverhalten ansetzt. Die Basis eines jeden Gewichtsverlustes ist eine negative Energiebilanz. Um in diesem Zusammenhang adäquate Diätempfehlungen abgeben zu können, ist es notwendig, den Energieverbrauch zu kennen. Der Ruheenergieverbrauch (REE) macht den grössten Anteil (60-70 %) des gesamten Energieverbrauchs aus (95). Deshalb ist eine genaue Bestimmung oder Messung des individuellen REE für ein erfolgreiches Gewichtsmanagement von grösster Bedeutung. Die indirekte Kalorimetrie repräsentiert den Goldstandard in der Messung des REE (46). Da diese aber teuer ist und geschultes Personal erfordert, werden als Alternative dazu oft andere Geräte zur Bestimmung des REE verwendet. Eines davon ist das SenseWear Pro 3 ArmbandTM, welches einfach und bequem am Oberarm tragbar ist und nicht nur unter Laborbedingungen gebraucht werden kann. Die Verwendung alternativer Messgeräte macht aber nur dann Sinn, wenn diese in ihrer Messgenauigkeit mit dem Goldstandard annähernd vergleichbar sind (117).

Ebenfalls notwendig für ein erfolgreiches Gewichtsmanagement ist ein ausreichendes Aktivitäts- und Bewegungsverhalten, welches auch in einer erhöhten kardiopulmonalen Fitness resultiert. Dadurch lässt sich einerseits den Aktivitäts-Energieverbrauch steigern und somit die Gewichtsabnahme vorantreiben. Andererseits kann den durch ein zu hohes Gewicht entstandenen gesundheitlichen Risikofaktoren teilweise entgegengewirkt werden (112;120) und vielleicht kann eine bessere kardiorespiratorische Fitness adipöse Personen sogar davor schützen, metabolische Beeinträchtigungen zu entwickeln (116).

Konservative Therapien führen meist nicht zum gewünschten Erfolg, der erreichte Gewichtsverlust von 5-10 % kann meist längerfristig nicht aufrechterhalten werden (108;110). Eine medikamentöse Behandlung erzielt auch nur einen durchschnittlichen Gewichtsverlust von drei bis sechs Kilogramm und nach dem Stoppen der Einnahme, kann auch dieser nicht gehalten werden (87). Als Alternative zu diesen konservativen Therapien werden vermehrt operative Therapieverfahren eingesetzt. Die bariatrische Chirurgie ist die effektivste Therapie zur Behandlung der Adipositas und hat im letzten Jahrzehnt enorme Popularität gewonnen. Im Jahr 2011 wurden weltweit bereits über 300'000 Operationen durchgeführt (10).

1.3 Bariatrische Chirurgie

Voraussetzungen für die Durchführung einer bariatrischen Operation sind gemäss internationaler Leitlinien ein BMI von $> 35.0 \text{ kg/m}^2$ mit mindestens einer Komorbidität oder ein BMI $\geq 40 \text{ kg/m}^2$ ohne Komorbiditäten (37;81). Ebenfalls von Bedeutung sind der Nachweis erfolgloser konservativer Therapieversuche sowie die Compliance des Patienten.

Die bariatrischen Operationsverfahren lassen sich einteilen in restriktive, malabsorptive, und kombinierte Verfahren. Die Implantation eines adjustierbaren Magenbandes ist ein rein restriktives Verfahren (Abbildung 1 A), wobei lediglich die Portionsgrösse eingeschränkt wird, die Passage der Nahrung durch den Gastrointestinaltrakt aber unverändert bleibt (99). Auch die sogenannte Schlauchmagenbildung (Sleeve-Resektion) gehört zu den restriktiven Verfahren (36), wobei der Magen bis auf einen dünnen Schlauch (83) mit einem Fassungsvermögen von ca. 100 ml komplett reseziert und die Aufnahme der Nahrungsmenge dadurch reduziert wird (Abbildung 1 B). Malabsorptive Verfahren basieren auf dem Prinzip der biliopankreatischen Diversion (Abbildung 1 C). Dabei passiert die Nahrung nur einen kurzen Teil des Dünndarms, die Verdauungssäfte wie Gallen- und Pankreassekret werden sehr spät über den biliopankreatischen Schenkel dem Chymus zugeführt. Der

Magenbypass wird zu den Kombinationsverfahren gezählt (Abbildung 1 D). Die Restriktion wird hierbei mit einer unterschiedlich stark ausgeprägten Malabsorption kombiniert, indem der grösste Teil des Magens, das gesamte Duodenum sowie ein Teil des Ileums von der Nahrungspassage ausgeschlossen werden (27).

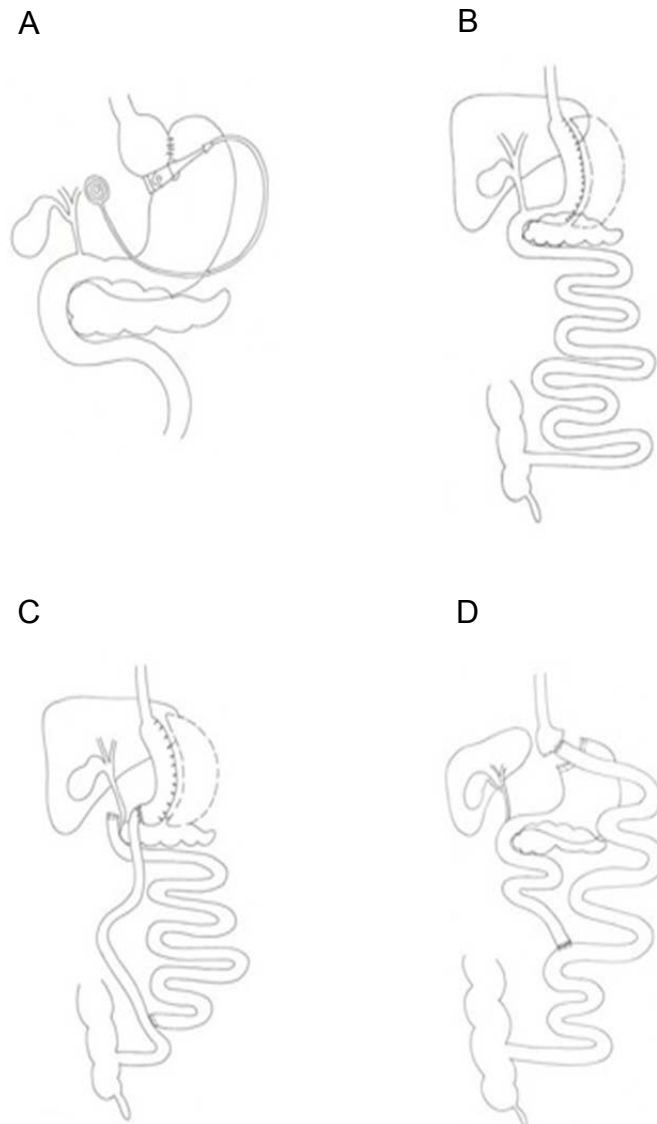


Abbildung 1. A: Adjustierbares Magenband; B: Schlauchmagen (gastric sleeve resection); C: Biliopankreatische Diversion (BPD) – Hier in Form eines Duodenal switch (DS) kombiniert mit einem Schlauchmagen; D: Roux-en-Y Magenbypass (aus 27)

Aufgrund eines unbefriedigenden Gewichtswiederanstiegs mit implantiertem Magenband im Langzeitverlauf (107), wird in der Schweiz als Standardverfahren meist die Magenbypass-Operation eingesetzt. Dadurch lassen sich auch die Komorbiditäten besser kontrollieren (83). Transformationsoperationen, wobei das Magenband entfernt und ein Magenbypass operiert wird, werden ebenfalls aufgrund eines Wiederanstiegs des Gewichtes durchgeführt (12). Auch weltweit betrachtet ist die Magenbypass-Operation die am häufigsten durchgeführte Operation in der bariatrischen Chirurgie, gefolgt von der Sleeve-Resektion und dem Magenband, wobei diese Reihenfolge in den unterschiedlichen Ländern stark variiert (10).

Bariatrische Eingriffe haben generell eine ausgeprägte Gewichtsabnahme zur Folge. Es existieren nur wenige Daten, was diese rapide Gewichtsabnahme in Bezug auf die motorischen Fähigkeiten bedeutet (64;82;111;127). Zu vermuten ist, dass sich die motorischen Fähigkeiten nach bariatrischer Chirurgie zumindest teilweise verbessern.

1.4 Fragestellung dieser Arbeit

Vor dem Hintergrund der oben dargestellten Sachverhalte haben sich für diese Arbeit folgende Fragestellungen ergeben, welche in einzelnen Teilstudien von der Autorin untersucht wurden. Im Ergebnisteil werden jeweils die Hintergründe und Resultate für jede Frage detaillierter dargestellt und anschliessend im Diskussionsteil zusammenfassend diskutiert.

1. Wie ist die Messgenauigkeit des SenseWear Pro 3 Armband™ bezüglich Ruheenergieverbrauch im Vergleich zur indirekten Kalorimetrie bei adipösen Erwachsenen?
2. Wie ist die Messgenauigkeit des SenseWear Pro 3 Armband™ bezüglich Aktivitäts-Energieverbrauch im Vergleich zur indirekten Kalorimetrie bei schwer adipösen, leicht adipösen und nicht-adipösen Frauen?
3. Gibt es einen Zusammenhang zwischen kardiorespiratorischer Fitness und dem kardiometabolischen Risikoprofil schwer adipöser Frauen und Männer?
4. Inwiefern unterscheiden sich schwer adipöse von nicht-adipösen Personen in ihrer sportmotorischen Leistungsfähigkeit?
5. Zeigen schwer adipöse Personen drei Monate nach bariatrischer Chirurgie eine Veränderung in ihrer sportmotorischen Leistungsfähigkeit? Inwiefern unterscheiden sie sich nach der Operation von nicht-adipösen Personen?

2. Methoden

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit generieren sich einerseits aus einer retrospektiven Analyse eines klinischen Datensatzes sowie andererseits aus einer prospektiven „Bewegungsstudie“, welche im Adipositas-Zentrum des Kantonsspitals St. Gallen durchgeführt wurde. Die Bewegungsstudie wurde von der Ethikkommission des Kantons St. Gallen genehmigt, ebenso erteilte die Ethikkommission eine Unbedenklichkeitsbescheinigung zur retrospektiven Analyse der klinischen Daten. Jeder Patient erteilte schriftlich sein Einverständnis für die wissenschaftliche Verwendung seiner Daten.

2.1 Analyse des klinischen Datensatzes

Alle Patienten, die sich im Adipositas-Zentrum vorstellten, unterzogen sich nach einem Erstgespräch einer standardisierten Evaluationsuntersuchung.

2.1.1 Anthropometrie

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden Körpergrösse sowie Hüft- und Taillenumfänge in cm und das Körpergewicht in kg morgens zwischen 8 und 10 Uhr nüchtern in leichter Bekleidung und ohne Schuhe gemessen. Der Body Mass Index (BMI) wurde daraus wie folgt berechnet: $[\text{Körpergewicht (kg)} / (\text{Körpergrösse (m)})^2]$. Zudem wurde der abdominale Sagittal Diameter in einer liegenden Position in Höhe der Lendenwirbel (L3-L5) bestimmt.

2.1.2 Körperzusammensetzung und indirekte Kalorimetrie

Die Körperzusammensetzung und der Phasenwinkel wurden mittels bioelektrischer Impedanzanalyse (BIA; Nutriguard M, Data Input, Darmstadt, Deutschland) sowie der Ruheenergieverbrauch mittels indirekter Kalorimetrie (Quark CPET, COSMED Srl, Italien) bestimmt. Der Ruheenergieverbrauch (REE) wurde mit dem ventilierten Haubensystem der indirekten Kalorimetrie (IC) über 30 Minuten bei konstanter Luftfeuchtigkeit und Raumtemperatur gemessen. Vor jeder Messung wurde eine Kalibration von Fluss und Volumen sowie der Gas-Sensorik (Gaskonzentration: 5 % CO₂, 16 % O₂, bal. N₂) durchgeführt. Die Fluss-/Volumenkalibration wurde mit einer 3 Liter Kalibrationspumpe durchgeführt. Die Kalibration der Umgebungsluft diente der Einstellung der Basislinie des CO₂ Sensors und der Verstärkung des O₂ Sensors, um präzise Messungen gewährleisten zu können. Während der Messung lagen die Patienten wach, ruhig und emotionslos in Rückenlage. Die Daten wurden alle 5 Sekunden erfasst. Die ersten zehn Minuten wurden nicht in die Analyse eingeschlossen und somit blieb eine 20-minütige Messperiode übrig.

Sauerstoffaufnahme (VO_2) und Kohlendioxidverbrauch (VCO_2) wurden mit der abgekürzten Weir Formel (123) in den REE umgerechnet.

2.1.3 SenseWear Armband

Parallel zur IC-Messung trugen die Patienten das SenseWear Pro 3 Armband™ (SWA; Body Media Company, Pittsburgh, PA), ein Gerät, mit welchem ebenfalls der REE bestimmt werden kann. Das Gerät (Abbildung 2) wurde am rechten Oberarm über dem Trizeps während der gesamten IC-Messung getragen. Das SenseWear Pro 3 Armband™ ist ein multi-sensor Armband, bestehend aus einer Kombination mehrerer Sensoren, welche verschiedene physiologische Parameter messen. Es sind dies: Galvanische Hautreaktion, Hauttemperatur, körpernahe Temperatur, Wärmefluss sowie ein Akzelerometer in zwei Achsen. Die galvanische Hautreaktion bestimmt die elektrische Leitfähigkeit der Haut und wird durch Schwitzen und Stress (psychogalvanische Reaktion) beeinflusst. Die Hauttemperatur bestimmt die Oberflächentemperatur des Körpers, die körpernahe Temperatur hingegen die Temperatur in körpernähe auf der Aussenseite des Gerätes. Als Wärmefluss wird die Wärmeabgabe des Körpers bezeichnet. Das Akzelerometer erfasst Bewegungen des Armes und stellt Informationen über die Position des Körpers bereit. Dieses System mehrerer Sensoren ermöglicht es dem Gerät, den Träger des Armbandes besser in einen physiologischen Kontext einordnen zu können. Zum Beispiel könnte eine starke Bewegung sowohl aktive als auch passive Bewegung bedeuten, betrachtet man aber zusätzlich zur Bewegung noch die Temperatur oder das Schwitzen, sollte schnell klar sein, ob es sich um einen aktiven oder passiven Bewegungskontext handelt. Zusätzlich zu diesem System verschiedener Sensoren werden anthropometrische Daten wie Alter, Grösse und Gewicht, aber auch Raucherstatus des Trägers erfasst und von der Software verarbeitet (1;62).

Es können auf dem Armband Daten über zwei Wochen ohne Unterbruch aufgezeichnet und anschliessend via USB Kabel auf den Computer heruntergeladen werden. Daraus werden die REE Werte mit der vom Hersteller entwickelten Software SenseWear Professional 6.1 berechnet. Die Algorithmen, welche diesen Berechnungen zugrunde liegen, sind nur dem Hersteller bekannt. Durch die physiologischen Signale der Sensoren wird aufgedeckt, in welchem Kontext sich der Träger befindet. Das Armband erkennt verschiedene basale Aktivitäten wie Gehen, Rennen, Rad fahren, Ruhen, Auto fahren. Andere Aktivitäten können als Kombination dieser basalen Aktivitäten klassifiziert werden. Jedem Kontext ist ein spezifischer Algorithmus hinterlegt, mit welchem der entsprechende Energieverbrauch berechnet wird. Die Algorithmen befinden sich in einem

stetigen Entwicklungsprozess, und der Datenbestand wird durch immer mehr Aktivitäten erweitert (1;62).



Abbildung 2. Multi-sensor SenseWear Pro 3 Armband™

2.1.4 Blutuntersuchungen

Es wurden von jedem Patienten morgens nüchtern Blutproben entnommen. Diese Blutproben wurden im Institut für klinische Chemie des Kantons St. Gallen analysiert. Für diese Arbeit sind folgende Blutparameter des Glukose- und Fettstoffwechsels relevant: Glukose, Insulin, Glykohämoglobin (HbA1c), Triglyceride (TG), Gesamt-, low- und high-density Cholesterin (Chol, LDL; HDL) sowie Harnsäure. Der Chol/HDL-Quotient wurde berechnet sowie der HOMA Index (Homeostasis Model Assessment) als ein Index der Insulinresistenz (80).

2.1.5 Spiroergometrie

Da die schwer adipösen Patienten für die Durchführung einer bariatrischen Operation eine gewisse körperliche Fitness als Grundvoraussetzung mitbringen sollten, wurde mit allen Patienten vor Operation ein Gesundheitscheck in Form eines kardiopulmonalen Fitness-tests, eine sogenannte Fahrrad-Spiroergometrie, durchgeführt. Der Gasaustausch der Atmung wurde alle 10 Sekunden mit einem Computersystem gemessen (CARDIO-VIT CS-200, Schiller AG, Baar, Schweiz). Das System wurde vor jeder Messung mit einer standardisierten Gaszusammensetzung (6.0098 % CO₂; 15.0184 % O₂; Rest N₂) und einer 3 Liter Turbine kalibriert. Das Testprotokoll startete je nach persönlicher Fitness bei 25, 50 oder 75 Watt und wurde alle 2 Minuten um 25 Watt gesteigert bis zur subjektiven Ausbelastung. Maximal erreichte Sauerstoffaufnahme (VO₂-peak), Herzfrequenz (HF-peak), Watt-Zahl (Watt-peak) und der respiratorische Quotient (RQ-peak), welcher den

Grad der metabolischen Ausbelastung bei Belastungsende charakterisiert, wurden erhoben. Der respiratorische Quotient (RQ) repräsentiert das Verhältnis zwischen ausgeatmetem Kohlendioxid (VCO_2) und gleichzeitig gemessener O_2 Aufnahme (VO_2). Ebenfalls wurde der Grad der kardialen Ausbelastung bei Belastungsende als erreichter Prozentanteil der berechneten maximalen Herzfrequenz bestimmt. Die maximale Herzfrequenz wurde mit der Formel $220 - \text{Alter}$ berechnet (118). Die anaerobe Schwelle (AT) wurde mit der V-slope Methode bestimmt (118) und dementsprechend VO_2 , HF, Watt und RQ ($VO_2\text{-AT}$; $HF\text{-AT}$, $Watt\text{-AT}$, $RQ\text{-AT}$) erhoben.

2.2 Prospektive Bewegungsstudie

In der Bewegungsstudie wurden das spontane Bewegungsverhalten, der Energieverbrauch sowie der motorische Funktionsstatus adipöser Personen erfasst. Für vorliegende Arbeit sind die erhobenen Daten bezüglich des Energieverbrauchs gemessen mittels SWA und parallel mittels IC sowie der motorische Funktionsstatus relevant. Die Studie wurde unterteilt in eine Quer- sowie Längsschnitt-Untersuchung. Im Querschnitt wurde der motorische Funktionsstatus von adipösen Probanden mit einer nicht-adipösen Kontrollgruppe verglichen, im Längsschnitt Adipöse vor und drei Monate nach bariatrischer Chirurgie. Eine standardisierte Testbatterie wurde in der Querschnittstudie an zwei Terminen mit den Probanden durchgeführt. In der Längsschnittstudie wurde die Testbatterie an einem einmaligen Termin drei Monate nach der Operation erneut durchgeführt. Der Energieverbrauch während körperlicher Aktivität wurde im Rahmen der Querschnittstudie auf dem Laufband gemessen. Die anthropometrischen Daten sowie die Körperzusammensetzung mittels BIA wurden analog wie oben beschrieben erhoben.

Die Studiengruppe wurde in drei Subgruppen unterteilt. Die nicht-adipöse Kontrollgruppe hatte einen BMI zwischen 19.0 und 26.9 kg/m^2 , die leicht Adipösen (welche aufgrund der Gruppenzusammensetzung nur für die Laufband-Analyse eingeschlossen wurden) zwischen 27.0 und 34.9 kg/m^2 und die schwer Adipösen wiesen einen BMI ≥ 35.0 kg/m^2 auf. Ausschlusskriterien waren Lungen- und kardiovaskuläre Krankheiten sowie orthopädische Probleme, welche die Teilnahme an den sportmotorischen Tests nicht zuließen.

Alle schwer und teilweise die leicht adipösen Probanden waren Patienten des Adipositas-Zentrums, welche im Rahmen ihrer Behandlung auf die Studie aufmerksam und dafür gewonnen werden konnten. Die nicht-adipösen und teilweise die leicht adipösen Personen konnten mittels öffentlichen Aushanges zur Teilnahme an der Studie gewonnen werden.

Für vorliegende Arbeit sind folgende sportmotorische Fähigkeiten relevant:

2.2.1 Kardiopulmonale Fitness

Zur Überprüfung der kardiopulmonalen Fitness wurde eine Spiroergometrie auf dem Fahrrad durchgeführt. Das Gerät (CARDIO-VIT CS-200, Schiller AG, Baar, Schweiz) wurde im oberen Abschnitt bereits erläutert, ebenso die erhobenen Parameter. Die VO_2 Werte und die Leistung in Watt wurden absolut dargestellt sowie relativ bezogen auf das Körpergewicht (KG) und die fettfreie Masse (FFM). Zusätzlich zu den bereits beschriebenen Parametern wurde der Wirkungsgrad (gross efficiency = GE), ein anderer wichtiger Indikator der Leistung, aus dem Verhältnis zwischen der Leistung in Watt (i.e., Joule pro Sekunde) und dem metabolic power input (PI) an der anaeroben Schwelle und bei Belastungsende, berechnet. Der PI wurde aus VO_2 und RQ (86) mit folgender Formel berechnet (41):

$$PI = VO_2/60 * (RQ * 4940 + 16040).$$

Der Grad des subjektiven Belastungsempfindens (rate of perceived exertion; RPE) wurde mit der Borg Skala (6-20) erfasst (7).

2.2.2 Beweglichkeit, Schnelligkeit und Gleichgewichtsfähigkeit

Die Beweglichkeit der hinteren Oberschenkelmuskulatur („Hamstrings“; ischiocrurale Muskulatur) wurde mit dem „stand and reach“ Test überprüft (90; Abbildung 3 A). Die Probanden standen auf einem Stuhl, lehnten sich vor und streckten die Hände mit gestreckten Knien so weit wie möglich nach unten. Die Distanz zwischen Fingerspitze und Stuhl wurde gemessen. Die Schulterbeweglichkeit (Abbildung 3 B) wurde gemessen, indem die Probanden einen Stab horizontal hinter dem Rücken auf Höhe L4/L5 hielten und versuchten, die Hände so nah wie möglich zusammenzuschieben. Die Distanz zwischen den beiden Händen wurde gemessen.

Die Schnelligkeit wurde mit zwei verschiedenen Tests gemessen: i) „Timed lying to standing“ Test (Abbildung 3 C), angelehnt an Weening-Dijksterhuis et al. (119), bei dem die Probanden aufgefordert wurden, so schnell wie möglich vom Bett aufzustehen, und ii) „Timed up and go“ Test (TUG; angelehnt an 91; Abbildung 3 D), bei dem die Probanden aufgefordert wurden, von einem 50 cm hohen Stuhl ohne Hilfe der Arme aufzustehen, 4 Meter so schnell wie möglich zu gehen, sich umzudrehen, zurückzulaufen und sich wieder hinzusetzen. In beiden Tests wurde die benötigte Zeit gemessen.

Die dynamische Gleichgewichtsfähigkeit wurde mit dem „balance control during walking“ Test (Balancier-Test) erhoben (angelehnt an 97; Abbildung 3 E). Die Probanden mussten 4 Meter mit selbst gewählter Gehgeschwindigkeit durch eine i) weite (25 cm) und

eine ii) enge (15 cm) Begrenzung gehen, ohne die Seitenlinien zu berühren. Die benötigte Zeit und die gemachten Fehler wurden dabei gemessen.

In allen Tests zur Beweglichkeit, Schnelligkeit und Gleichgewichtsfähigkeit hatten die Probanden einen Probeversuch zum Üben und eine Messung.

2.2.3 Isometrische Maximalkraft

Die isometrische Maximalkraft wurde mit einem System für isometrische Kraftmessungen gemessen (Feedbackball, mtd-systems, Deutschland). Isometrische Maximalkraftmessung wird definiert als maximale Muskelkontraktion gegen einen unbeweglichen Widerstand, wobei Variablen wie Geschwindigkeit und Muskellänge konstant bleiben (42). Drei Krafttests für drei verschiedene Muskelgruppen wurden durchgeführt: Obere Rückenmuskulatur (Abbildung 3 F), Bein-Extensoren (Quadrizeps (vordere Oberschenkelmuskulatur), Abbildung 3 G) und Bein-Flexoren („Hamstrings“ (hintere Oberschenkelmuskulatur), Abbildung 3 H). Beim Ruderzug zur Messung der Kraft der oberen Rückenmuskulatur zogen die Probanden an den Handgriffen mit am Körper fixierten Ellbogen. Die Messung der Kraft der Bein-Extensoren und –Flexoren wurde mit einer Kniewinkelstellung von 90° durchgeführt.

Die Krafttests wurden einmal gemessen, nachdem die Probanden vorgehend genau instruiert worden sind. Die Messdauer betrug 3 Sekunden. Alle Kraftwerte wurden sowohl absolut dargestellt wie auch relativ bezogen auf das Körpergewicht sowie die fettfreie Masse. Zusätzlich wurde der Flexion/Extension-Quotient berechnet (50).

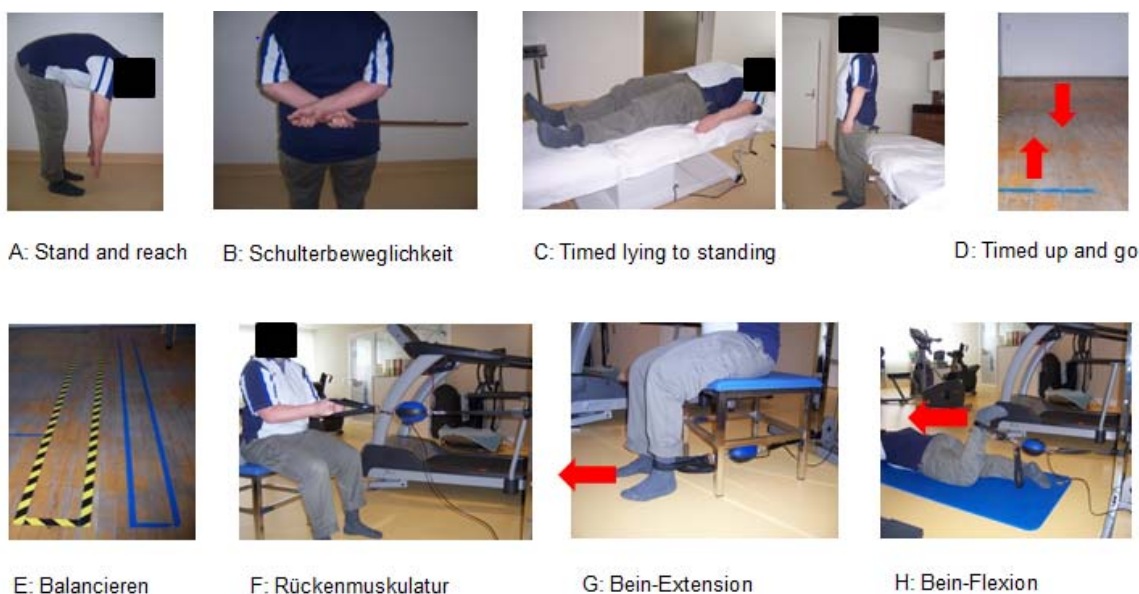


Abbildung 3. Sportmotorische Tests der Bewegungsstudie.

2.2.4 Energieverbrauchsmessungen

Der Aktivitäts-Energieverbrauch (AEE) wurde auf dem Laufband mit der indirekten Kalorimetrie und gleichzeitig mit dem SenseWear Pro 3 ArmbandTM gemessen. Die indirekte Kalorimetrie (Quark CPET, COSMED Srl, Italien) wurde anstatt mit Haube mit einer Maske durchgeführt, die Kalibration wurde auf die gleiche Weise durchgeführt wie bei den REE-Messungen in der Erstevaluation beschrieben. Als Testprotokoll wurde ein Stufenprotokoll (2 km/h, 3 km/h, 4 km/h, 5 km/h und 6 km/h) ohne Steigung und einer Stufendauer von jeweils fünf Minuten gewählt. Die erste Minute jeder Stufe wurde nicht in die Analyse eingeschlossen.

2.3 Statistik

Für die statistische Auswertung der Daten wurde das Statistikprogramm Superior Performing Software Systems (SPSS) PC Version 12.0 verwendet.

Alle Daten wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung überprüft. Bei Vorliegen nicht normalverteilter Daten wurden diese logarithmiert (log). Es werden Mittelwert und Standardabweichung oder Standardfehler, wie jeweils ausgewiesen, angegeben.

Vergleiche zwischen zwei unabhängigen Stichproben wurden mittels des ungepaarten Student's t-Tests für metrisch skalierte Variablen durchgeführt. Für den Vergleich von zwei abhängigen Stichproben oder zwei Gruppen über einen Zeitverlauf wurde der gepaarte Student's t-Test gebraucht. Für Vergleiche zwischen mehr als zwei Gruppen wurde eine einfache Varianzanalyse (one-way ANOVA) für metrisch skalierte Variablen berechnet. Bonferroni post hoc Einzelpunktvergleiche wurden bei signifikanten Gruppenunterschieden angewendet.

Mittels zweifaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) wurden die Effekte zweier unabhängiger Grössen auf eine abhängige Variable untersucht. Dabei wurde der isolierte Einfluss jedes Faktors sowie eine mögliche Interaktion zwischen diesen untersucht. Mittels dreifaktorieller ANOVA mit Messwiederholung wurden die Effekte der Zwischensubjekt- und Innersubjektfaktoren sowie deren Interaktionen auf eine abhängige Variable untersucht.

χ^2 -Tests wurden zur Überprüfung des statistischen Zusammenhangs für nominal skalierte Variablen zwischen zwei oder mehr Gruppen gebraucht. McNemar-Tests wurden zur Überprüfung des statistischen Zusammenhangs eines dichotomen Merkmals für verbundene Stichproben gebraucht.

Die Bland Altman Technik wurde eingesetzt, um den Vergleich zweier Messmethoden (IC vs. SWA) visuell darzustellen (5).

Mit dem Pearson Korrelationskoeffizienten wurde die Stärke des Zusammenhangs zweier Variablen angegeben. Mittels multivariater schrittweiser linearer Regressionsanalysen wurde die Beziehung zwischen einer abhängigen und mehrerer unabhängigen Variablen untersucht.

Für alle Testverfahren wurde ein Signifikanzniveau von $p < 0.05$ gewählt (70).

3. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse zu den in der Einleitung aufgelisteten Fragestellungen jeweils einzeln dargestellt:

3.1 Wie ist die Messgenauigkeit des SenseWear Pro 3 Armband™ bezüglich Ruheenergieverbrauch im Vergleich zur indirekten Kalorimetrie bei adipösen Erwachsenen?

3.1.1 Einleitung

Eine genaue Messung des individuellen REE ist für ein erfolgreiches Gewichtsmanagement von grösster Bedeutung. Derzeit repräsentiert die indirekte Kalorimetrie den Goldstandard in der Messung des REE in klinischen Settings (46). Aber die IC ist verbunden mit relativ hohen Kosten, hohen zeitlichen Ansprüchen und einem besonders geschulten Fachpersonal, was ihren regelmässigen Einsatz in der klinischen Praxis verhindert (13). Durch diese Einschränkungen werden in klinischen Settings oft REE Berechnungs-Formeln (28;45;85) gebraucht. Erst kürzlich aber wurde gezeigt, dass etablierte Prädiktionsformeln nicht geeignet sind für adipöse Menschen und den REE in etwa 30 % oder mehr aller Fälle um mehr als 10 % über- oder unterschätzten (129).

Es wurden neue technische Geräte entwickelt, welche eine genauere Bestimmung des REE erlauben sollen, ohne eine IC durchzuführen. Das multi-sensor SenseWear Pro 3 Armband™ stellt ein solch technisches Gerät dar. Validierungs-Studien (38;88) zeigten eine durchgehend gute Reliabilität des Gerätes, aber die Genauigkeit in der Messung des REE variierte stark zwischen den verschiedenen Patientengruppen. Verglichen mit der IC-Messung lieferte das SWA genaue REE Werte für schlanke (38), aber nicht für adipöse Personen (3;88) sowie für Personen, welche unter Anorexia Nervosa (26) leiden.

Nur eine Studie hat bislang in einer so grossen Studiengruppe schwer adipöser Personen die REE Werte bestimmt mit dem SWA mit denjenigen gemessen mit der IC miteinander verglichen (88). In dieser Studie wurden 105 Frauen und 37 Männer mit einem durchschnittlichen BMI von 42.8 kg/m² respektive 40.9 kg/m² untersucht. Die Resultate zeigten, dass das SWA den REE generell unterschätzte bei adipösen Personen mit einer besonders starken Tendenz, einen individuell hohen REE aufzuweisen (88). Analog dieser Studie führten wir REE-Messungen mit der IC (REE-IC) und gleichzeitig mit dem SWA (REE-SWA) bei einer grossen Anzahl adipöser Personen durch (188 Frauen; 76 Männer). Zudem wollten wir wissen, ob das SWA genauere REE Werte liefert - im Vergleich zur IC - als etablierte Prädiktionsformeln (28;45;85). Nur wenn dies der Fall ist,

kann das Gerät für den Gebrauch in der klinischen Praxis empfohlen und die zusätzlichen Kosten legitimiert werden.

3.1.2 Methode

In unsere Studie wurden 188 adipöse Frauen und 76 adipöse Männer mit einem BMI von mindestens 30.0 kg/m^2 eingeschlossen, welche im Rahmen ihrer Erstevaluation zwischen März 2011 und Februar 2012 eine REE-Messung mittels IC und parallel mittels des SWA im Adipositas-Zentrum erhalten haben. Alle REE-Messungen mittels IC wurden auf Plausibilität überprüft unter der Annahme eines RQ zwischen 0.7 und 0.87 als Einschlusskriterium. Eine Abweichung der Werte gemessen mit dem SWA von weniger als $\pm 10 \%$ von den mit der IC gemessenen Werten wurde als zufriedenstellend betrachtet.

Tabelle 1 zeigt einen Überblick über die vier REE-Prädiktionsformeln, welche wir in unserer Studie für den Vergleich mit den mittels SWA und IC erhobenen REE Werten gebraucht haben (28;45;85). Drei der vier REE-Formeln (World Health Organization (WHO), Harris-Benedict (HB), Mueller I) basieren auf anthropometrischen Parametern wie Körpergewicht und Grösse, während die Mueller II-Formel die Parameter der Körperzusammensetzung wie fettfreie Masse (FFM) und Fettmasse (FM) gebraucht. Von Interesse ist, dass die Formeln von Mueller ausschliesslich aus Daten von adipösen Personen entwickelt wurden.

Tabelle 1. Etablierte REE-Prädiktionsformeln

Referenz	REE-Prädiktionsformeln
WHO, 1985 (28)	Altersreichweite 18-30 Jahre; Frauen: $13.3*W+334*H+35$; Männer: $15.4*W-27*H+717$
	Altersreichweite 30-60 Jahre; Frauen: $8.7*W-25*H+865$; Männer: $11.3*W+16*H+901$
	Altersreichweite >60 Jahre; Frauen: $9.2*W+637*H-302$; Männer: $8.8*W+1128*H-1071$
Harris-Benedict, 1919 (45)	Frauen: $665.0955+9.5634*W+1.8496*H-4.6756*Alter$
	Männer: $66.473+13.7516*W+5.0033*H-6.7550*Alter$
Mueller, 2004 (85)	I: einschliesslich Gewicht: $0.05*W+1.103*Geschlecht-0.01586*Alter+2.924$
	II: einschliesslich FFM und FM: $0.05685*FFM+0.04022*FM+0.808*Geschlecht-0.01402*Alter+2.818$

Für das Geschlecht in der Mueller-Formel: weiblich = 0 und männlich = 1; für alle Formeln: Alter in Jahren, W = Gewicht in Kilogramm, H = Grösse in Zentimeter (ausser für die WHO-Formel: Grösse in Meter); FM in Kilogramm, FFM in Kilogramm, REE-Resultate sind Kilokalorien pro Tag in der Harris-Benedict- und der WHO-Formel, und Megajoules pro Tag in der Mueller-Formel.

3.1.3 Ergebnisse

Die klinische Charakteristik der Studiengruppe ist in Tabelle 2 zusammengefasst und die REE Daten erhoben mit IC, SWA und Prädiktionsformeln in Tabelle 3.

Tabelle 2. Klinische Charakteristik der Studiengruppe mit REE-Messungen

	Frauen (n = 188)	Männer (n = 76)
Alter (Jahre)	41.2 ± 12.7 (18-77)	44.7 ± 12.5 (18-70)
Grösse (cm)	164.3 ± 6.6 (148-188)	176.7 ± 7.1 (160-196)
Gewicht (kg)	111.7 ± 17.9 (77-167)	137.3 ± 22.8 (102-208)
BMI (kg/m ²)	41.4 ± 6.1 (30.1-61.3)	43.9 ± 6.5 (33.7-64.0)
FM (kg) ¹	54.1 ± 12.9 (30.5-95.8)	51.3 ± 14.0 (26.6-91.7)
FM (%) ¹	47.9 ± 4.5 (35.6-60.3)	36.9 ± 5.2 (24.9-47.7)
FFM (kg) ¹	57.6 ± 6.2 (42.7-76.8)	86.0 ± 11.2 (64.6-116.3)

Daten sind Mittelwert ± Standardabweichung, und Spannweite (Minimum-Maximum);
¹Daten liegen für 181 Frauen und 73 Männer vor.

Tabelle 3. REE Daten erhoben mit IC, SWA und Prädiktionsformeln

	Frauen (n = 188)	Männer (n = 76)
REE-IC (kcal/d)	1911 ± 349 (1230-3223)	2587 ± 403 (1687-3656)
REE-SWA (kcal/d)	1872 ± 212 (1440-2592)	2578 ± 373 (1944-3816)
REE-WHO (kcal/d)	1928 ± 241 (1446-2721)	2496 ± 376 (1897-3868)*
REE-HB (kcal/d)	1845 ± 197 (1448-2422)*	2537 ± 362 (1900-3715)
REE-Mueller I (kcal/d)	1877 ± 228 (1434-2572)	2425 ± 289 (1964-3344)**
REE-Mueller II (kcal/d) ¹	1837 ± 201 (1424-2456)**	2377 ± 269 (1978-3236)**

Daten sind Mittelwert ± Standardabweichung, und Spannweite (Minimum-Maximum);
¹Daten liegen für 181 Frauen und 73 Männer vor; *p < 0.05; **p < 0.001 vs. REE-IC; P-Werte berechnet mittels gepaartem Student's t-Test.

Die REE-SWA Werte korrelierten signifikant mit den REE-IC Werten bei den Frauen ($r = 0.58$, $p < 0.001$) sowie bei den Männern ($r = 0.73$, $p < 0.001$; Abbildung 4). Die REE-SWA Mittelwerte unterschieden sich nicht signifikant von den REE-IC Mittelwerten weder bei den Frauen ($p = 0.066$) noch bei den Männern ($p = 0.782$). Die Bland Altman Analyse (Abbildung 5) zeigte, dass das SWA den REE bei denjenigen Frauen systematisch überschätzte, welche tiefe REE-IC Werte aufwiesen und den REE bei denjenigen unterschätzte, welche hohe REE-IC Werte aufwiesen ($r = -0.54$, $p < 0.001$). Eine solch systematische Abweichung konnte für die Männer nicht festgestellt werden ($r = -0.11$, $p = 0.33$).

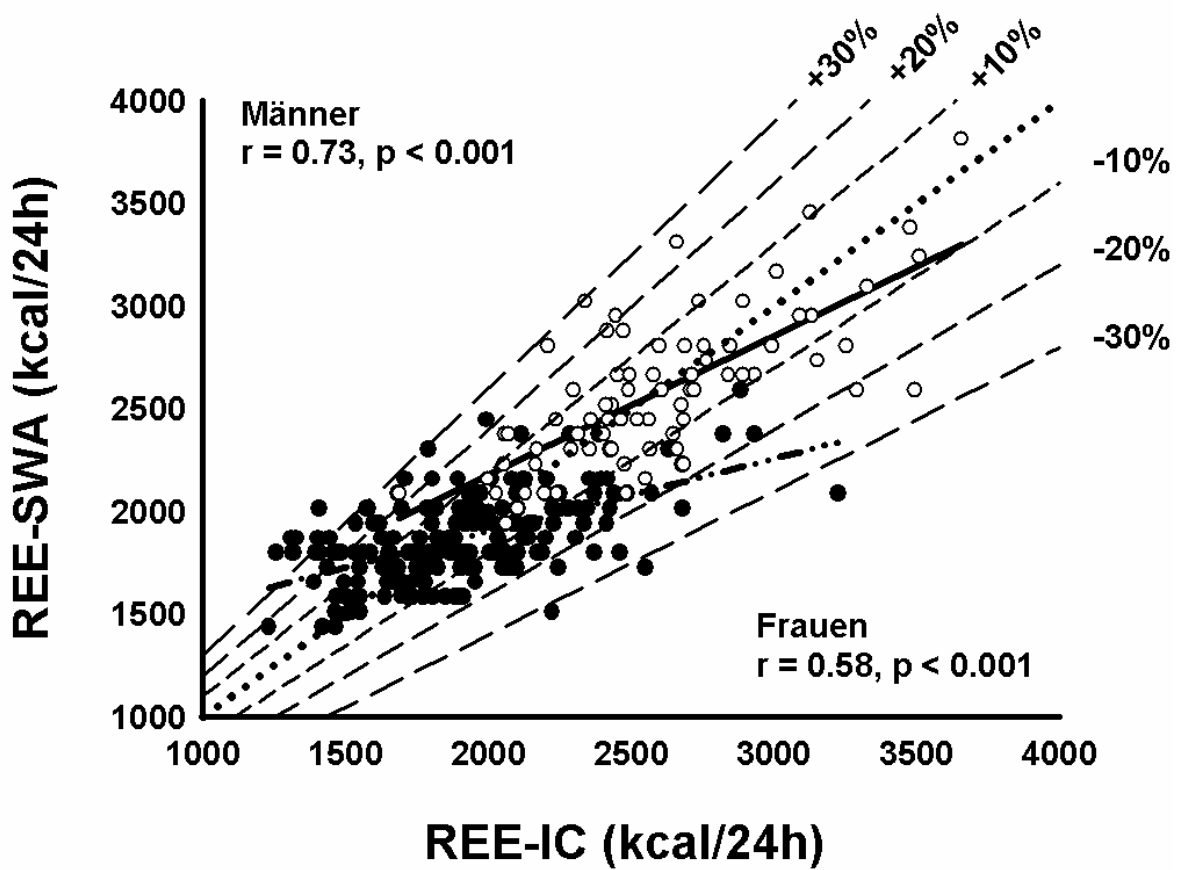


Abbildung 4. Beziehung zwischen dem Ruheenergieverbrauch gemessen mit der indirekten Kalorimetrie und dem multi-sensor SenseWear Pro 3 Armband™, erhoben in 188 adipösen Frauen (schwarze Kreise; Strich-Punkt-Punkt-Regressionslinie) und 76 adipösen Männern (weisse Kreise, durchgezogene Regressionslinie). Die gepunktete Linie zeigt die Identitätslinie. Die gestrichelten Linien zeigen die Abweichungen von $\pm 10\%$, $\pm 20\%$ und $\pm 30\%$ des REE-SWA vom REE-IC. r- und p-Werte stammen aus Pearson's Regressionsanalysen.

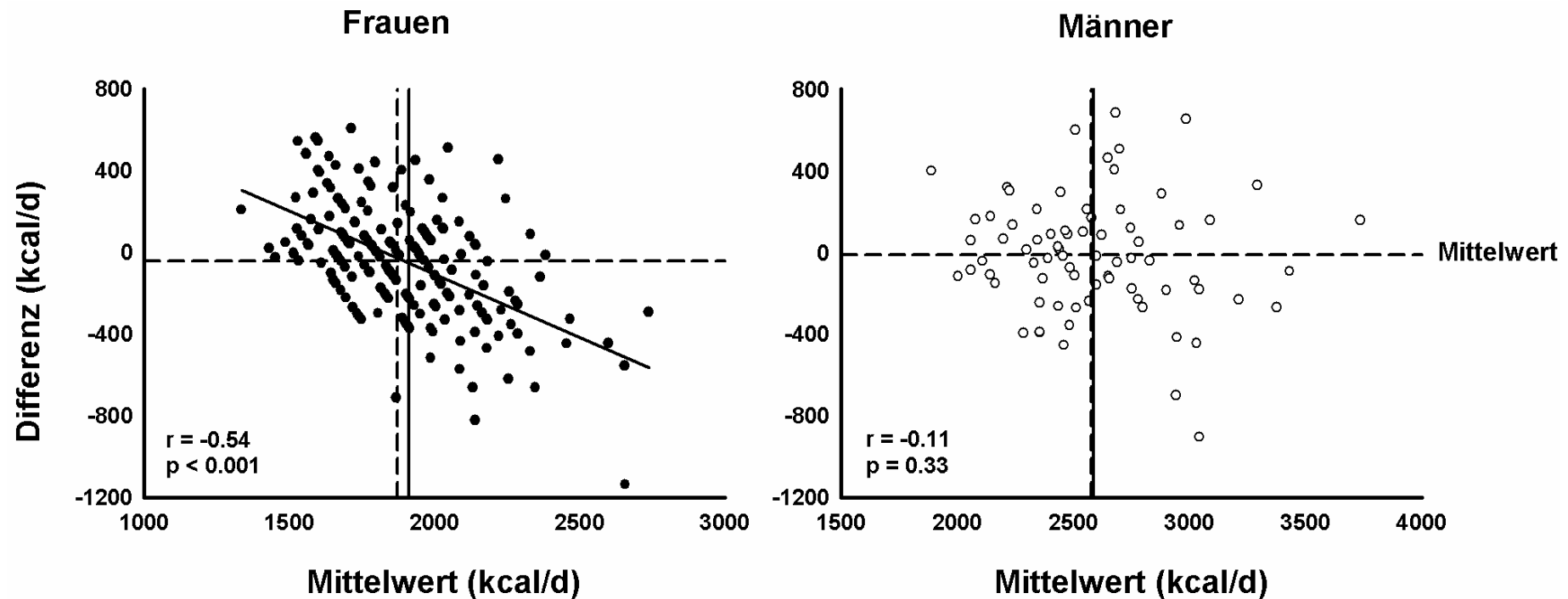


Abbildung 5. Bland Altman Regression der Differenz zwischen dem Ruheenergieverbrauch gemessen mit der indirekten Kalorimetrie und mit dem multi-sensor SenseWear Pro 3 Armband™, erhoben in 188 adipösen Frauen (links, schwarze Kreise) und 76 adipösen Männern (rechts, weisse Kreise). Die durchgezogene vertikale Linie bedeutet Mittelwert REE-IC; die gestrichelte vertikale Linie bedeutet Mittelwert REE-SWA. Differenz = REE-SWA – REE-IC; kcal/d; Mittelwert = $0.5 \cdot (\text{REE-IC} + \text{REE-SWA})$; kcal/d. r- und p-Werte stammen aus Pearson's Regressionsanalysen.

Bei den Frauen unterschieden sich die REE Mittelwerte berechnet mit der WHO- ($p = 0.398$) und Mueller I- ($p = 0.082$) Formel nicht signifikant vom REE-IC, während die REE Mittelwerte berechnet mit HB ($p = 0.001$) und Mueller II ($p < 0.001$) signifikant tiefer waren. Bei den Männern waren die REE Mittelwerte berechnet mit der WHO- ($p = 0.012$), Mueller I- und Mueller II- (beide $p < 0.001$) Formel signifikant tiefer als die REE-IC Werte, hingegen unterschieden sich die mit der HB-Formel berechneten REE Werte nicht signifikant von den REE-IC Werten ($p = 0.110$).

Tabelle 4 listet die Prozentanteile der adipösen Frauen und Männer auf, für welche die REE-SWA Werte $\geq + 10 \%$, $+ 20 \%$, $+ 30 \%$, oder $- 10 \%$, $- 20 \%$ und $- 30 \%$ von den REE-IC Werten abweichen. In nur 50.0 % der adipösen Frauen lieferte das SWA REE Werte, welche weniger als $\pm 10 \%$ von den entsprechenden REE-IC Daten abwichen. Für die Männer war die entsprechende Zahl 68.4 %. Multivariate Regressionsanalysen zeigten, dass die FFM 2.2 % der Varianz der Differenz zwischen den REE-IC und den REE-SWA Werten für die Frauen erklärte (beta = -0.15; $p = 0.044$). Bei den Männern erklärte keine der erhobenen Variablen (Alter, BMI, FM, FFM) die Varianz der Differenz der beiden Messgeräte.

Die Prozentanteile der Frauen und Männer, für welche die REE Werte berechnet mit der WHO-, HB-, und Mueller II-Formel weniger als $\pm 10 \%$ vom REE-IC abwichen, waren vergleichbar mit den REE-SWA Werten (Frauen: WHO 56.3 %, $p = 0.144$; HB 50.5 %, $p = 1.000$; Mueller II 49.1 %, $p = 0.824$; Männer: WHO 59.2 %, $p = 0.077$; HB 68.5 %, $p = 1.000$; Mueller II 53.4 %, $p = 0.063$). Die Mueller I-Formel lieferte für die Frauen genauere REE Werte als das SWA (57.5 %, $p = 0.017$), aber für die Männer war dies nicht der Fall (62.0 %, $p = 0.286$). Der REE berechnet mit einer neuen Formel, welche extra für schwer adipöse Personen entwickelt wurde (54), zeigte ähnliche Resultate: 50.0 % der Frauen und 30.1 % der Männer zeigten berechnete REE Werte, welche mehr als $\pm 10 \%$ vom REE-IC abwichen.

Tabelle 4. Abweichung der REE Daten erhoben mit dem SWA und den vier Prädiktionsformeln von den REE Daten gemessen mit der indirekten Kalorimetrie

	Frauen (n=188)					Männer (n=76)				
	REE-SWA	REE-WHO	REE-HB	REE-Mueller I	REE-Mueller II ¹	REE-SWA	REE-WHO	REE-HB	REE-Mueller I	REE-Mueller II ¹
≤ -30%	1.6%		1.6%	1.6%	1.7%				1.3%	
≤ -20%	3.7%	3.2%	4.8%	2.7%	5.6%	2.6%	5.3%	2.6%	5.2%	5.5%
≤ -10%	29.8%	19.2%	30.9%	23.4%	32.1%	15.8%	25%	18.4%	30.2%	42.5%
≥ +10%	20.2%	24.5%	18.6%	19.1%	18.8%	15.8%	15.8%	13.1%	7.8%	4.1%
≥ +20%	12.8%	14.9%	10.1%	11.7%	8.9%	6.6%	5.3%	3.9%	3.9%	
≥ +30%	4.3%	6.9%	3.7%	4.8%	3.9%			1.3%		

¹Daten liegen für 181 Frauen und 73 Männer vor.

3.1.4 Zusammenfassung

Unsere Daten zeigen, dass der REE von adipösen Personen mit etablierten Prädiktionsformeln nicht exakt bestimmt werden kann. Das wichtigste Ergebnis ist, dass das SWA den REE nicht genauer bestimmen kann als die getesteten Formeln. REE Werte gemessen mit dem SWA, welche weniger als 10 % von den REE Werten gemessen mit der IC abwichen, lagen nur in 50.0 % der getesteten Frauen und 68.0 % der getesteten Männer vor, so dass 32.0 % - 50.0 % aller getesteten Personen REE-SWA Werte aufwiesen, welche den REE-IC um mindestens 10 % über- oder unterschätzten. Zu beachten gilt, dass in > 16.0 % aller Frauen und > 9.0 % der Männer der REE-SWA sogar 20 % oder mehr vom entsprechenden REE-IC abwich.

3.2 Wie ist die Messgenauigkeit des SenseWear Pro 3 Armband™ bezüglich Aktivitäts-Energieverbrauch im Vergleich zur indirekten Kalorimetrie bei schwer adipösen, leicht adipösen und nicht-adipösen Frauen?

3.2.1 Einleitung

Vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Datenanalyse zum REE haben wir in der nachfolgenden Bewegungsstudie den AEE mittels IC (AEE-IC) und parallel mittels SWA (AEE-SWA) gemessen. Gemäss vorausgehender Studien wird der Energieverbrauch während körperlicher Aktivität mit dem SWA ungenau gemessen verglichen mit der IC (38;60;88). In der einen Studie (38) wurde der Energieverbrauch (EE) mit dem SWA und parallel mit der IC während zwei Ruhe- sowie einer Fahrradergometrie- und einer Laufband-Sequenz gemessen. Das SWA hat in dieser Studie zwar den REE zuverlässig gemessen, überschätzte aber den EE beim flachen Gehen auf dem Laufband und unterschätzte den EE beim Gehen mit Steigung. In einer anderen Studie (88) wurde das SWA speziell für adipöse Personen validiert. Es wurde gezeigt, dass das SWA den EE für alle drei Arten von körperlicher Aktivität (Fahrradergometrie, Treppen steigen und Gehen auf dem Laufband) nur ungenau messen kann, besonders bei denjenigen Personen, welche einen hohen EE-IC in Ruhe sowie während körperlicher Aktivität aufweisen. Das SWA wurde auch für andere Patientengruppen mit der IC verglichen, so zum Beispiel für Herz-Patienten (18) oder Patienten mit chronischen obstruktiven Lungenerkrankungen (51), wobei in diesen Studien die Reliabilität des SWA abhängig war von der Modalität der Aktivität oder von der Einteilung der Patienten in Subgruppen mit verschiedenen Ausprägungen der Krankheiten.

3.2.2 Methode

In unsere Studie wurden 70 Frauen, welche zwischen Juli 2011 und Oktober 2012 im Rahmen der Bewegungsstudie den Energieverbrauch auf dem Laufband gemessen hatten, eingeschlossen. Die Studiengruppe wurde in drei Subgruppen unterteilt. Die Nicht-adipösen (n = 25) hatten einen BMI zwischen 19.0 und 26.9 kg/m², die leicht Adipösen (n = 12) zwischen 27.0 und 34.9 kg/m² und die schwer Adipösen (n = 33) wiesen einen BMI \geq 35 kg/m² auf. Eine Abweichung der Werte gemessen mit dem SWA von weniger als \pm 10 % von den mit der IC gemessenen Werten wurde als zufriedenstellend betrachtet. Da auf dem Laufband nicht alle leicht und schwer adipösen Probanden die höheren Stufen erreichten, weil sie bereits auf einer niedrigeren Stufe subjektiv ausbelastet waren, variierte die Probandenzahl je nach Stufe.

3.2.3 Ergebnisse

Die anthropometrischen Daten der Studiengruppe sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5. Anthropometrische Daten der Studiengruppe mit AEE-Messungen

	Nicht-adipöse (n = 25)	Leicht Adipöse (n = 12)	Schwer Adipöse (n = 33)
Alter (Jahre)	39.7 ± 11.6 (26-64)	39.9 ± 11.6 (20-56)	37.0 ± 11.9 (18-65)
Grösse (cm)	164.1 ± 5.7 (154-179)	165.9 ± 7.0 (150-176)	165.9 ± 6.8 (155-183)
Gewicht (kg)	61.1 ± 6.5 (52-73)	86.5 ± 7.8 (76-98)	113.5 ± 17.6 (94-161)
BMI (kg/m ²)	22.6 ± 2.1 (19.6-26.7)	31.3 ± 2.0 (27.3-34.1)	41.2 ± 5.1 (35.4-60.6)

Daten sind Mittelwert ± Standardabweichung, und Spannweite (Minimum-Maximum).

Wie erwartet zeigte die ANOVA, gerechnet mit dem Zwischensubjektfaktor „Gruppenzugehörigkeit“ und den Innersubjektfaktoren „Methode“ und „Geschwindigkeit“, dass der AEE mit zunehmender Gehgeschwindigkeit anstieg ($p < 0.001$). Dieser Anstieg zeigte sich am deutlichsten in der schwer adipösen Gruppe ($p < 0.001$ für die „Geschwindigkeit * Gruppe“ Interaktion; Abbildung 6). Obwohl über alle Gruppen betrachtet die AEE Werte erhoben mit dem SWA sich nicht signifikant von den AEE Werten erhoben mit der IC unterschieden ($p = 0.101$ für die Bedingung „Methode“), überschätzte das SWA den AEE systematisch in der Gruppe der schwer adipösen Frauen ($p = 0.02$ für die „Methode * Gruppe“ Interaktion). Dieser Effekt war auch von der Geschwindigkeit abhängig ($p = 0.002$ für die „Geschwindigkeit * Methode * Gruppe“ Interaktion). Unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit stiegen die Differenzen zwischen dem AEE erhoben mit dem SWA und mit der IC mit steigender Gehgeschwindigkeit an ($p < 0.001$ für die „Geschwindigkeit * Methode“ Interaktion).

Differenzierte Analysen des AEE auf den verschiedenen Laufband-Stufen zeigten, dass in der nicht-adipösen Gruppe auf der 6 km/h Stufe die AEE-SWA Mittelwerte signifikant tiefer waren als die AEE-IC Mittelwerte ($p = 0.001$), hingegen unterschieden sie sich nicht voneinander auf allen anderen Stufen (alle $p > 0.13$). In der Gruppe der leicht adipösen Frauen unterschieden sich die AEE-SWA Mittelwerte auf allen Stufen nicht von den AEE-IC Mittelwerten (alle $p > 0.19$). In der Gruppe der schwer adipösen Frauen waren die AEE-SWA Mittelwerte auf allen Stufen, mit Ausnahme der 6 km/h Stufe ($p = 0.07$), signifikant höher als die AEE-IC Mittelwerte (alle $p < 0.004$).

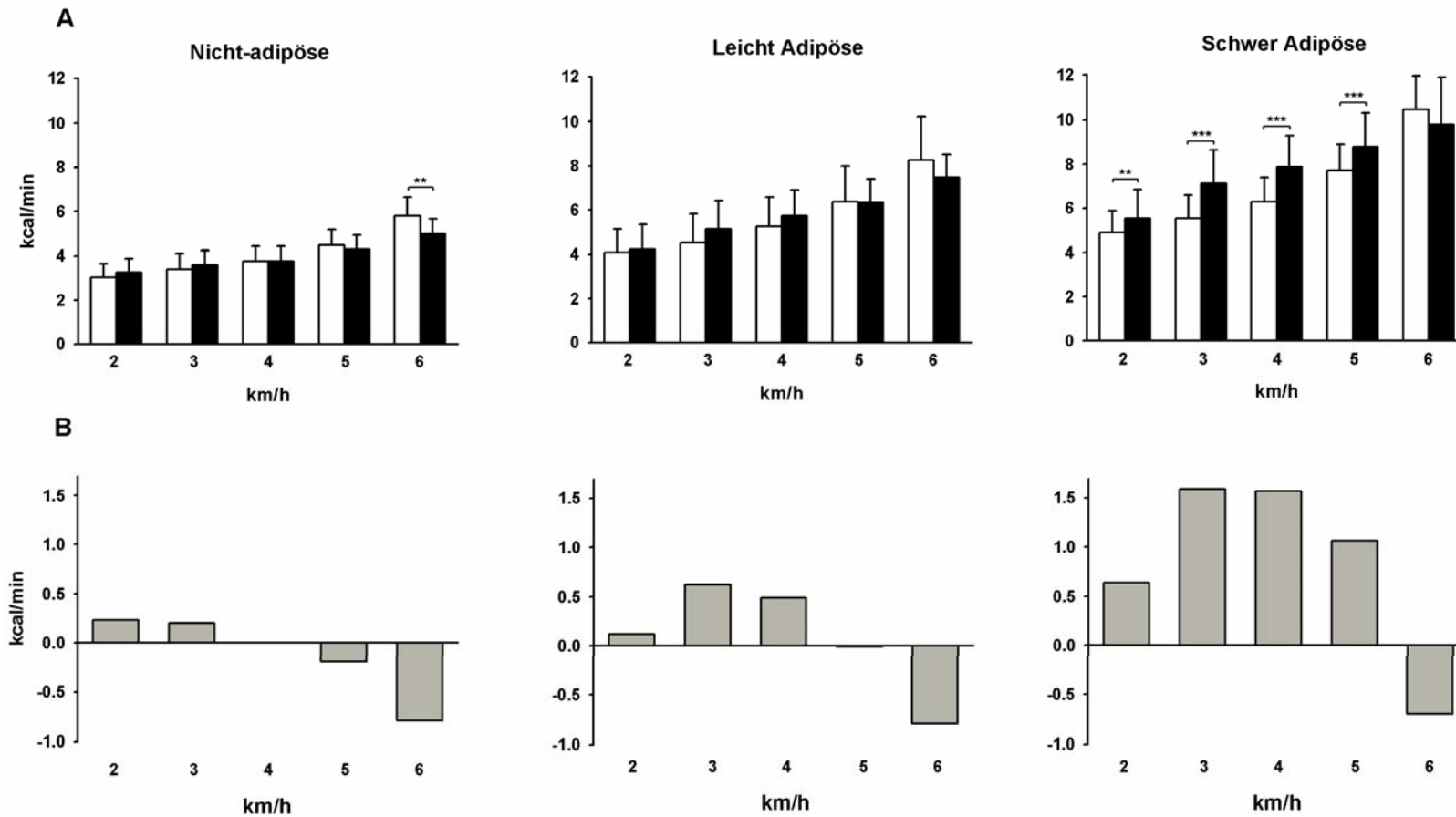


Abbildung 6. A: Aktivitäts-Energieverbrauch gemessen mit der IC und mit dem SWA, aufgeteilt in die verschiedenen BMI-Gruppen und Laufband-Stufen. Weisse Balken zeigen AEE-IC, schwarze Balken zeigen AEE-SWA. B: Differenz des Energieverbrauchs gemessen mit der IC und mit dem SWA (AEE-SWA – AEE-IC). Daten liegen für 11 leicht adipöse Frauen für die 6 km/h Stufe vor, für 31 schwer adipöse Frauen für die 4 km/h Stufe, für 29 respektive 19 schwer adipöse Frauen für die 5 km/h respektive 6 km/h Stufe. Die Balken sind Mittelwert \pm Standardabweichung. ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ für den gepaarten Student's t-Test.

Korrelationsanalysen zeigten, dass die AEE-SWA Werte über die gesamte Studiengruppe und über alle Laufgeschwindigkeiten betrachtet mit den AEE-IC Werten korrelierten (alle $r > 0.67$, alle $p < 0.001$; Tabelle 6; Abbildung 7 A). Betrachtet man die einzelnen Gruppen, korrelierten in der Gruppe der schwer adipösen Frauen ebenfalls auf allen Laufband-Stufen die AEE-SWA mit den AEE-IC Werten (alle $r > 0.5$, alle $p < 0.003$; Tabelle 6). In der Gruppe der nicht-adipösen sowie der leicht adipösen Frauen gab es auf keiner Laufband-Stufe eine solche Korrelation (alle $p > 0.06$; Tabelle 6).

Bland Altman Analysen ergaben über die gesamte Studiengruppe betrachtet, dass der AEE-SWA den AEE-IC mit ansteigenden AEE Werten auf allen Laufband-Stufen systematisch überschätzte (alle $r > 0.25$, alle $p < 0.05$), mit Ausnahme auf der 6 km/h Stufe ($p = 0.78$; Tabelle 6; Abbildung 7 B). Differenzierte Analysen der einzelnen Gruppen zeigten keine solchen konsistenten, systematischen Abweichungen.

Tabelle 6. Korrelations- und Bland Altman- Analysen

	2 km/h	3 km/h	4 km/h	5 km/h	6 km/h
	IC vs. SWA				
Nicht-adipöse	0.27	0.33	0.39	0.09	0.14
Leicht Adipöse	0.06	0.24	0.44	0.34	0.07 ^a
Schwer Adipöse	0.54 ^{**}	0.63 ^{***}	0.56 ^{b**}	0.58 ^{c**}	0.67 ^{d**}
Über alle Gruppen	0.68 ^{***}	0.77 ^{***}	0.81 ^{e***}	0.82 ^{f***}	0.83 ^{g***}
	Differenz vs. Mittelwert				
Nicht-adipöse	0.01	-0.10	-0.004	-0.10	-0.26
Leicht Adipöse	0.06	-0.03	-0.16	-0.44	-0.56 ^a
Schwer Adipöse	0.31	0.44 [*]	0.31 ^b	0.30 ^c	0.44 ^d
Über alle Gruppen	0.26 [*]	0.52 ^{***}	0.54 ^{e***}	0.39 ^{f**}	0.04 ^g

^aDaten liegen für 11 Frauen vor; ^bDaten liegen für 31 Frauen vor; ^cDaten liegen für 29 Frauen vor; ^dDaten liegen für 19 Frauen vor; ^eDaten liegen für 68 Frauen vor; ^fDaten liegen für 66 Frauen vor; ^gDaten liegen für 55 Frauen vor; * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

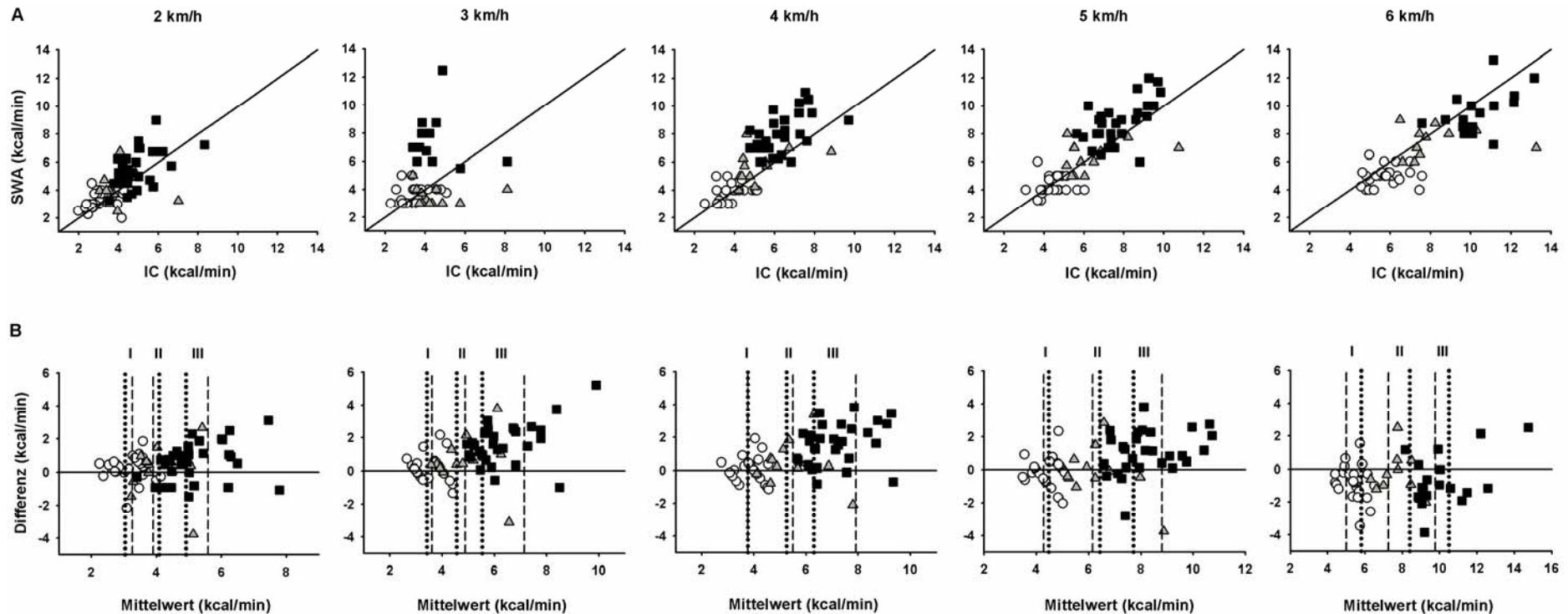


Abbildung 7. A: Beziehung zwischen dem Aktivitäts-Energieverbrauch gemessen mit der IC und mit dem SWA. Die durchgezogene Linie zeigt die Identitätslinie. B: Bland Altman Regression der Differenz zwischen dem Energieverbrauch gemessen mit der IC und mit dem SWA. Die gepunktete vertikale Linie bedeutet Mittelwert AEE-IC; die gestrichelte vertikale Linie bedeutet Mittelwert AEE-SWA; I = nicht-adipöse Frauen, II = leicht adipöse Frauen, III = schwer adipöse Frauen. Die horizontale Linie zeigt die 0-Linie. Differenz = AEE-SWA – AEE-IC; kcal/min; Mittelwert = $0.5 \cdot (\text{AEE-IC} + \text{AEE-SWA})$; kcal/min. Quadrate = 33 schwer adipöse Frauen, Dreiecke = 12 leicht adipöse Frauen, Kreise = 25 nicht-adipöse Frauen. Daten liegen für 11 leicht adipöse Frauen für die 6 km/h Stufe vor, für 31 schwer adipöse Frauen für die 4 km/h Stufe, für 29 respektive 19 schwer adipöse Frauen für die 5 km/h respektive 6 km/h Stufe. r- und p-Werte stammen aus Pearson's Regressionsanalysen.

Tabelle 7 zeigt die Prozentanteile der drei Gruppen, für welche die AEE-SWA Werte $\geq +10\%$, $+20\%$, $+30\%$, oder -10% , -20% und -30% von den AEE-IC Werten abweichen. In der nicht-adipösen Gruppe lagen über alle Laufband-Stufen betrachtet zwischen 32.0% und 44.0% der Frauen innerhalb der akzeptablen Abweichung von $\pm 9.9\%$ des AEE-SWA vom AEE-IC. In der Gruppe der leicht Adipösen lagen über alle Laufband-Stufen betrachtet zwischen 25.0% und 50.1% der Frauen im akzeptablen Range von $\pm 9.9\%$ Abweichung und in der Gruppe der schwer adipösen Frauen 12.1% - 44.9% .

Es gab über alle Gruppen und Laufband-Stufen betrachtet keine signifikanten Unterschiede in den Prozentanteilen der Abweichungen des AEE-SWA vom AEE-IC (alle $p > 0.08$). Ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zeigten sich zwischen der nicht-adipösen Gruppe und der Gruppe der leicht adipösen Frauen (alle $p > 0.40$) sowie zwischen den Gruppen der leicht und der schwer adipösen Frauen (alle $p > 0.10$). Zwischen den nicht-adipösen und den schwer adipösen Frauen liessen sich signifikante Unterschiede in den Abweichungen des AEE-SWA vom AEE-IC auf der 2 km/h , 3 km/h und 4 km/h Stufe feststellen (alle $p < 0.05$), nicht aber auf der 5 km/h und 6 km/h Stufe (beide $p > 0.67$).

Tabelle 7. Abweichung des AEE erhoben mit dem SWA vom AEE gemessen mit der IC in Prozenten

Nicht-adipöse Frauen (n = 25)					
	2 km/h	3 km/h	4 km/h	5 km/h	6 km/h
≤ -30%	4.0%			4.0%	8.0%
≤ -20%	8.0%	4.0%	12.0%	16.0%	28.0%
≤ -10%	12.0%	24.0%	32.0%	40.0%	60.0%
≥ +10%	50.0%	40.0%	24.0%	16.0%	8.0%
≥ +20%	32.0%	16.0%	12.0%	8.0%	4.0%
≥ +30%	12.0%	16.0%	8.0%	4.0%	4.0%
Leicht adipöse Frauen (n = 12)					
	2 km/h	3 km/h	4 km/h	5 km/h	6 km/h ¹
≤ -30%	16.7%	8.3%		8.3%	9.1%
≤ -20%	16.7%	8.3%	8.3%	8.3%	9.1%
≤ -10%	25.0%	8.3%	16.6%	16.6%	45.5%
≥ +10%	50.0%	58.3%	41.7%	33.3%	9.1%
≥ +20%	25.0%	25.0%	25.0%	25.0%	9.1%
≥ +30%	25.0%	25.0%	16.7%	8.3%	9.1%
Schwer adipöse Frauen (n = 33)					
	2 km/h	3 km/h	4 km/h ²	5 km/h ³	6 km/h ⁴
≤ -30%				3.4%	5.3%
≤ -20%	6.1%			3.4%	10.6%
≤ -10%	21.3%	3.0%	3.2%	3.4%	52.7%
≥ +10%	66.6%	84.9%	77.5%	51.7%	21.1%
≥ +20%	36.3%	69.7%	64.6%	37.9%	
≥ +30%	24.2%	48.5%	45.2%	20.7%	

¹Daten liegen für 11 Frauen vor; ²Daten liegen für 31 Frauen vor; ³Daten liegen für 29 Frauen vor; ⁴Daten liegen für 19 Frauen vor.

3.2.4 Zusammenfassung

Unsere Daten zeigen, dass der AEE auf allen Laufband-Stufen sowohl in der schwer als auch in der leicht adipösen sowie in der nicht-adipösen Gruppe mit dem SWA nicht sehr genau bestimmt werden kann. In der schwer adipösen Gruppe war die 5 km/h Stufe diejenige Stufe mit der geringsten Messabweichung des AEE-SWA vom AEE-IC, trotzdem lagen 55.1 % aller gemessenen Frauen ausserhalb der akzeptablen Abweichung von ± 9.9 %. Die 2 km/h und 3 km/h Stufe zeigten die grösste Abweichung, wobei 87.9 % aller gemessenen Frauen ausserhalb des akzeptablen Bereiches lagen. In der Gruppe der leicht adipösen Frauen war ebenfalls die 5 km/h Stufe diejenige Stufe mit der geringsten Abweichung, wobei 49.9 % der Frauen eine nicht akzeptable Messabweichung aufwiesen. Die grösste Abweichung liess sich auch auf der 2 km/h Stufe feststellen, auf welcher 75.0 % aller Frauen eine Abweichung des AEE-SWA vom AEE-IC von mindestens ± 10 % zeigten. Die nicht-adipösen Frauen wiesen die beste Messgenauigkeit auf der 4 km/h respektive 5 km/h Stufe auf, auf denen aber immer noch 56.0 % der gemessenen Frauen ausserhalb des akzeptablen Messbereichs lagen. Die schlechteste Messgenauigkeit zeigte sich auf der 6 km/h Stufe, wobei 68.0 % der Frauen eine Abweichung des AEE-SWA vom AEE-IC von mindestens ± 10 % aufwiesen.

Auffällig war, dass in allen drei Gruppen jeweils die 5 km/h Stufe diejenige Stufe mit der geringsten Messabweichung des AEE-SWA vom AEE-IC war. In den Gruppen der leicht und schwer adipösen Frauen waren die niedrigsten Laufband-Stufen diejenigen mit der grössten Messabweichung des AEE-SWA vom AEE-IC. Die nicht-adipösen Frauen zeigten bezüglich grösster Messabweichung ein etwas anderes Schema auf, da sich hier die höchste Laufband-Stufe als diejenige mit der grössten Messabweichung herausstellte.

3.3 Gibt es einen Zusammenhang zwischen kardiorespiratorischer Fitness und dem kardiometabolischen Risikoprofil schwer adipöser Frauen und Männer?

3.3.1 Einleitung

Körperfettmasse und kardiorespiratorische Fitness sind wesentliche Determinanten der Gesundheit (74;103). Ein erhöhter BMI und eine geringe körperliche Aktivität (welche oft mit einer geringen kardiorespiratorischen Fitness einhergeht) steigern unabhängig voneinander das Risiko für Diabetes Typ 2, kardiovaskuläre Krankheiten sowie einen frühzeitigen Tod (56;77;122). Es wird kontrovers diskutiert, inwiefern sich die Adipositas und die körperliche Aktivität/Fitness in vergleichbarem Mass auf die Gesundheit auswirken (71;106;122). Es gibt Studien, welche der körperlichen Aktivität und der kardiorespiratorischen Fitness einen stärkeren Einfluss auf die kardiovaskulären und kardiometabolischen Risiken beimessen als der Adipositas (30;104;124), andere hingegen widersprechen dieser Ansicht (61;93).

Einige Studien (112;120) konnten zeigen, dass eine hohe körperliche Aktivität und/oder kardiorespiratorische Fitness den schädigenden Einfluss der Adipositas auf die Gesundheit abzuschwächen vermag. Gemäss dem sogenannten „fit aber fett“-Konzept sollen körperlich aktive, adipöse Personen eine tiefere Morbidität und Mortalität aufweisen als normalgewichtige, inaktive Personen (4;35;74). Da aber adipöse Personen oft eine geringe kardiorespiratorische Fitness aufweisen, verliert dieses Konzept möglicherweise in der Masse an Bedeutung (25;58).

Viele der oben genannten Studien beinhalteten nur eine geringe Anzahl ausgeprägt adipöser Personen, so dass die Bedeutung der kardiorespiratorischen Fitness auf die Gesundheitsrisiken bei dieser speziellen Population weitgehend unklar ist. Vor diesem Hintergrund haben wir Analysen unseres grossen Datenbestandes durchgeführt, um den möglichen Zusammenhang zwischen der kardiorespiratorischen Fitness und dem kardiometabolischen Risikoprofil schwer adipöser Personen weiter zu untersuchen.

3.3.2 Methode

Es wurden 308 schwer adipöse Frauen und 133 schwer adipöse Männer, welche zwischen Januar 2006 und Mai 2011 präoperativ eine Fahrradspiroergometrie im Adipositas-Zentrum absolviert hatten und demnach einen BMI von mindestens 35.0 kg/m^2 aufwiesen, in die Studie eingeschlossen. Ausschlusskriterien waren Lungen- und kardiovaskuläre Krankheiten sowie orthopädische Probleme, welche die Teilnahme am Test nicht zuließen. Patienten, welche bei Belastungsende einen RQ unter 0.9 aufwiesen, wurden von der Analyse ausgeschlossen.

Für Analysen des Glukosestoffwechsels sind Patienten mit Diabetes-Medikamenten und für Analysen des Fettstoffwechsels solche mit lipidsenkenden Medikamenten ausgeschlossen worden.

3.3.3 Ergebnisse Frauen

Die anthropometrische Charakteristik und die kardiometabolischen Risikomarker der Studiengruppe sind in Tabelle 8 zusammengefasst und die kardiorespiratorischen Fitness Indizes in Tabelle 9.

Tabelle 8. Anthropometrische und metabolische Charakteristik der adipösen Frauen mit Spiroergometrie

	n	MW ± SD	Spannweite
Alter (Jahre)	308	39.5 ± 11.3	19-75
Grösse (cm)	308	163 ± 7	144-182
Gewicht (kg)	308	118 ± 18	79-196
BMI (kg/m ²)	308	44.6 ± 5.6	35.2-70.7
Glukose (mmol/l) ¹	275	5.4 ± 1.1	3.7-13.0
Insulin (mU/l) ¹	238	14.2 ± 9.4	2.6-91.6
HOMA ¹	237	3.5 ± 3.1	0.6-33.0
HbA1c (%) ¹	193	5.7 ± 0.8	3.3-12.3
TG (mmol/l) ²	288	1.6 ± 1.0	0.4-10.5
Chol (mmol/l) ²	286	5.1 ± 1.1	0.7-8.8
LDL (mmol/l) ²	266	3.1 ± 0.9	0.3-6.2
HDL (mmol/l) ²	271	1.4 ± 0.4	0.8-3.2
Gesamt Chol/HDL (mmol/l) ²	270	3.9 ± 1.1	0.2-7.9
Harnsäure (µmol/l)	293	327.1 ± 65.2	30-540

¹Patienten mit Diabetesmedikamenten sind ausgeschlossen.

²Patienten mit lipidsenkenden Medikamenten sind ausgeschlossen.

Tabelle 9. Kardiorespiratorische Fitness Indizes der adipösen Frauen

	n	MW ± SD	Spannweite
<i>Indizes an der anaeroben Schwelle</i>			
HF-AT (l/min) ¹	282	137 ± 16	95-186
Watt-AT	304	107 ± 27	50-175
VO ₂ -AT (l/min)	300	1.47 ± 0.38	0.21-2.51
RQ-AT	300	0.99 ± 0.02	0.86-1.0
<i>Indizes bei Belastungsende (peak)</i>			
HF-peak (l/min) ^{1,2}	280	150 ± 19	103-191
Watt-peak	308	127 ± 28	50-200
VO ₂ -peak (l/min)	308	1.72 ± 0.46	0.6-2.87
RQ-peak	308	1.08 ± 0.08	0.91-1.29

¹Patienten mit Betablockern sind ausgeschlossen.

²Patienten mit HF-peak geringer als 60% HF-max. sind ausgeschlossen.

Korrelationen zwischen kardiorespiratorischer Fitness und kardiometabolischen Risikomarkern

Korrelationsanalysen zeigten, dass das Alter positiv korrelierte mit Glukose ($r = 0.33$, $p < 0.001$), HbA1c ($r = 0.34$, $p < 0.001$), TG ($r = 0.12$, $p = 0.04$), Chol ($r = 0.36$, $p < 0.001$), LDL ($r = 0.34$, $p < 0.001$) und HDL ($r = 0.22$, $p = 0.001$), aber invers korrelierte mit Insulin ($r = -0.13$, $p = 0.04$). Der BMI korrelierte positiv mit den Markern der Insulinresistenz (Insulin: $r = 0.27$, $p < 0.001$; HOMA Index: $r = 0.27$, $p < 0.001$) und dem Chol/HDL-Quotienten ($r = 0.14$, $p = 0.03$), aber negativ mit HDL ($r = -0.25$, $p < 0.001$). Das Körpergewicht korrelierte ebenfalls positiv mit Insulin ($r = 0.18$, $p = 0.005$) und dem HOMA Index ($r = 0.18$, $p = 0.006$), aber invers mit Chol ($r = -0.18$, $p = 0.003$), LDL ($r = -0.14$, $p = 0.02$) und HDL ($r = -0.24$, $p < 0.001$). Die Grösse korrelierte ebenfalls negativ mit Chol ($r = -0.14$, $p = 0.02$) und LDL ($r = -0.18$, $p = 0.003$).

Die Analysen mit den kardiorespiratorischen Fitness Indizes zeigten, dass höhere Watt-peak Werte mit tieferen Glukose Werten ($r = -0.24$, $p < 0.001$), einem tieferen HOMA Index ($r = -0.16$, $p = 0.02$) und tieferen HbA1c Werten ($r = -0.29$, $p < 0.001$) korrelierten, während die VO_2 -peak Werte negativ korrelierten mit dem HbA1c ($r = -0.20$, $p = 0.006$) und den TG Werten ($r = -0.20$, $p < 0.001$). Die Watt-AT Werte korrelierten negativ mit Glukose ($r = -0.14$, $p = 0.02$), dem HOMA Index ($r = -0.14$, $p = 0.04$) und dem HbA1c ($r = -0.19$, $p = 0.009$). Es gab keine Korrelationen der VO_2 -AT Werte mit den kardiometabolischen Risikomarkern.

Multivariate Regressionsanalysen

Multivariate Regressionsanalysen mit Alter, Gewicht, Grösse und Raucherstatus als unabhängige Variablen zeigten, dass das Alter (erklärte Varianzen von 1.4-12.9 %; alle $\beta < 0.40$; alle $p < 0.05$), das Gewicht (erklärte Varianzen von 1.5-5.9 %; alle $\beta < 0.33$; alle $p < 0.04$), und die Grösse (erklärte Varianzen von 4.4-5.1 %; alle $\beta < -0.24$; alle $p < 0.002$) stärker mit den kardiometabolischen Risikomarkern assoziiert sind als alle kardiorespiratorischen Fitness Indizes. Interessanterweise beeinflusste der Raucherstatus das kardiometabolische Risikoprofil nicht. Der Einschluss des BMI in die Regressionsmodelle anstelle von Gewicht und Grösse ergab ähnliche Resultate. Der BMI war unabhängig vom Alter und den kardiorespiratorischen Fitness Indizes mit Glukose, Insulin, HOMA Index, HbA1c, HDL und dem Chol/HDL-Quotienten (erklärte Varianzen von 1.8-7.2 %; alle $\beta < 0.28$; alle $p < 0.03$) assoziiert.

Trotzdem erklärten die kardiorespiratorischen Fitness Indizes einen Teil der Varianz verschiedener kardiometabolischer Risikomarker. Watt-peak erklärte 1.4 % der Varianz für Glukose ($\beta = -0.13$; $p = 0.04$) und 2.8 % der Varianz der HbA1c Werte ($\beta = -0.18$; $p = 0.01$), während VO_2 -peak 3.9 % der Varianz des TG Spiegels ($\beta = -$

0.20; $p = 0.001$) erklärte. VO_2 -AT und Watt-AT zeigten keine Assoziationen mit den kardiometabolischen Risikomarkern.

Vergleiche zwischen Fitness-Gruppen

Abbildung 8 illustriert den Vergleich der kardiometabolischen Risikomarker zwischen den vier kardiorespiratorischen Fitness-Gruppen aufgeteilt in die VO_2 -peak Quartile adjustiert für Alter, Grösse und Gewicht. Gruppenvergleiche zeigten, dass höhere VO_2 -peak Werte mit tieferen Glukose (über alle $p = 0.013$), Chol (über alle $p < 0.001$), LDL (über alle $p < 0.001$) und HDL (über alle $p = 0.004$) Werten assoziiert sind. Ähnliche Resultate wurden erzielt mit einer Aufteilung der Studiengruppe in alters-, gewichts- und grössen-adjustierte Watt-peak Quartile (Abbildung 9). Hier wurde eine bessere Fitness mit tieferen Glukose (über alle $p < 0.001$), HbA1c (über alle $p < 0.001$), Chol (über alle $p < 0.001$) und LDL (über alle $p < 0.001$) Werten assoziiert.

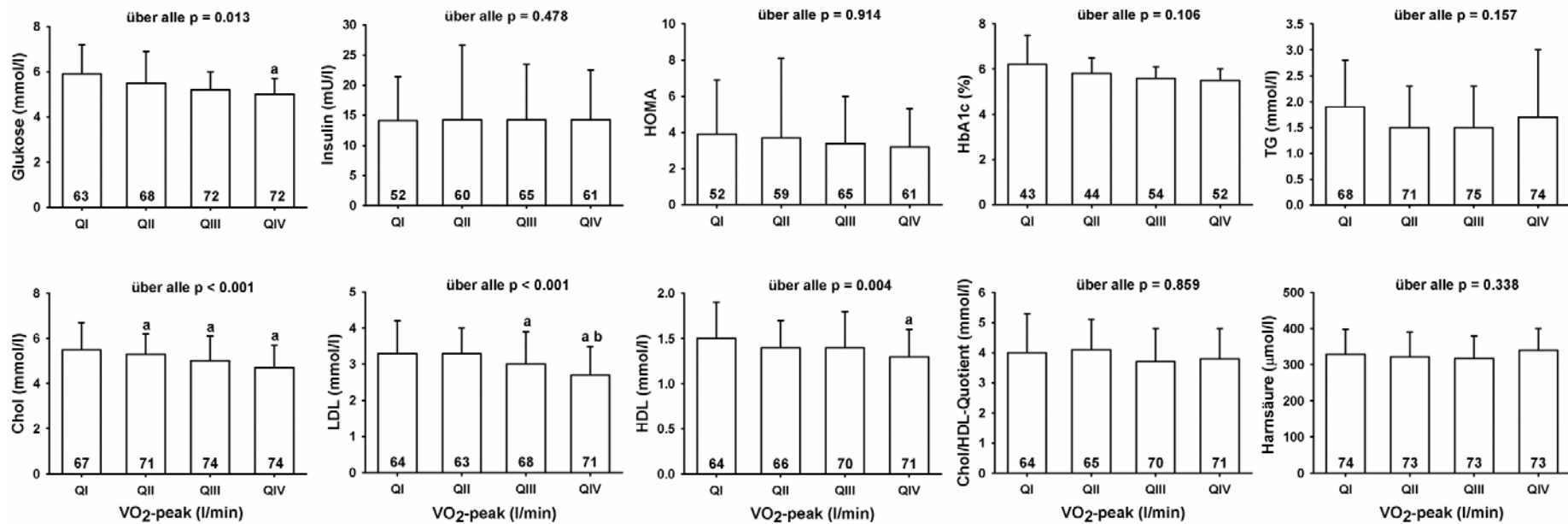


Abbildung 8. Vergleich der kardiometabolischen Risikomarker zwischen den vier kardiorespiratorischen Fitness-Gruppen aufgeteilt in die VO₂-peak Quartile. Alle Daten sind Mittelwert ± SD. QI = Quartil I (0-<25); QII = Quartil II (25-<50); QIII = Quartil III (50-<75); QIV = Quartil IV (≥75). Für die Analysen von Glukose, Insulin, HOMA, und HbA1c sind Patienten mit Diabetesmedikamenten ausgeschlossen. Für die Analysen von TG, Chol, LDL, HDL, und Chol/HDL-Quotient sind Patienten mit lipidsenkenden Medikamenten ausgeschlossen. P-Werte stammen aus der ANOVA. Die Zahl in den Balken gibt die Anzahl der untersuchten Patienten an. a = signifikant verschieden von QI; b = signifikant verschieden von QII.

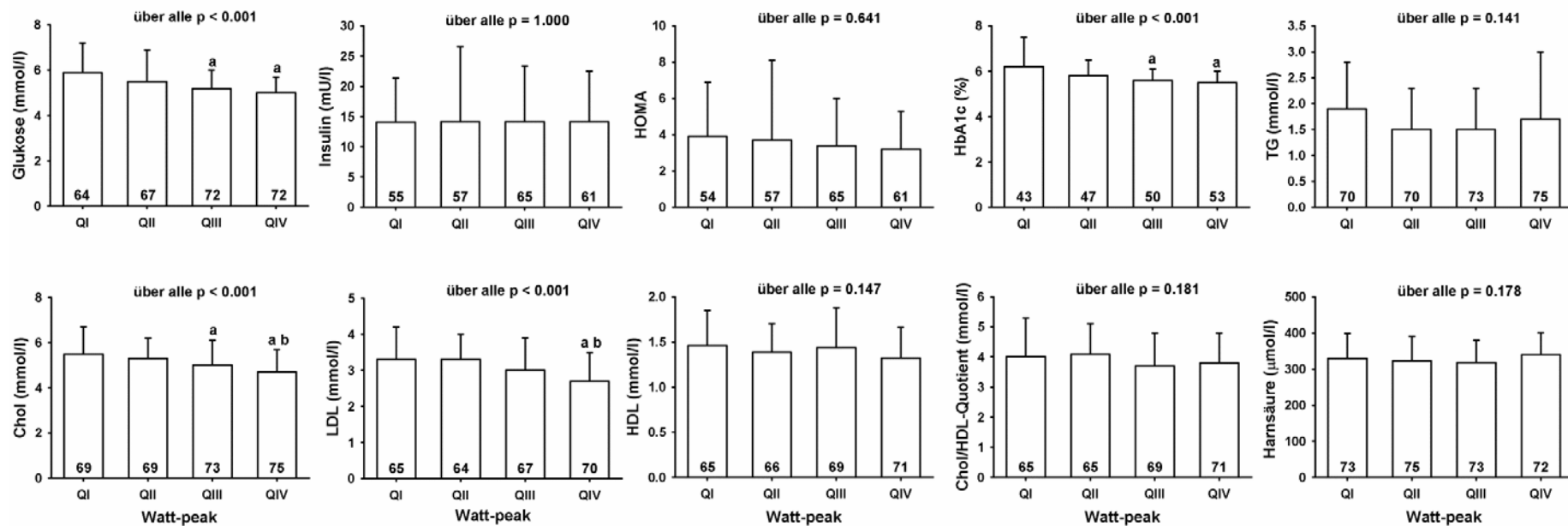


Abbildung 9. Vergleich der kardiometabolischen Risikomarker zwischen den vier kardiorespiratorischen Fitness-Gruppen aufgeteilt in die Watt-peak Quartile. Alle Daten sind Mittelwert \pm SD. QI = Quartil I (0-<25); QII = Quartil II (25-<50); QIII = Quartil III (50-<75); QIV = Quartil IV (\geq 75). Für die Analysen von Glukose, Insulin, HOMA, und HbA1c sind Patienten mit Diabetesmedikamenten ausgeschlossen. Für die Analysen von TG, Chol, LDL, HDL, und Chol/HDL-Quotient sind Patienten mit lipidsenkenden Medikamenten ausgeschlossen. P-Werte stammen aus der ANOVA. Die Zahl in den Balken gibt die Anzahl der untersuchten Patienten an. a = signifikant verschieden von QI; b = signifikant verschieden von QII.

3.3.4 Ergebnisse Männer

Die anthropometrische Charakteristik und die kardiometabolischen Risikomarker der Studiengruppe sind in Tabelle 10 zusammengefasst und die kardiorespiratorischen Fitness Indizes in Tabelle 11.

Tabelle 10. Anthropometrische und metabolische Charakteristik der adipösen Männer mit Spiroergometrie

	n	MW ± SD	Spannweite
Alter (Jahre)	133	44.2 ± 11.3	18 - 67
Grösse (cm)	133	175.2 ± 7.1	152-194
Gewicht (kg)	133	140.7 ± 21.5	89-197
BMI (kg/m ²)	133	45.8 ± 6.0	35.1-65.1
Glukose (mmol/l) ¹	96	5.9 ± 1.5	4.3-16.0
Insulin (mU/l) ¹	80	18.5 ± 8.6	6.2-43.5
HOMA ¹	80	5.0 ± 3.8	1.4-28.8
HbA1c (%) ¹	69	6.0 ± 0.9	4.9-9.7
TG (mmol/l) ²	107	2.0 ± 1.2	0.6-10.1
Chol (mmol/l) ²	109	5.0 ± 0.93	2.8-7.6
LDL (mmol/l) ²	99	3.0 ± 0.8	0.8-4.6
HDL (mmol/l) ²	102	1.1 ± 0.3	0.7-2.1
Gesamt Chol/HDL (mmol/l) ²	102	4.6 ± 1.1	2.2-8.0
Harnsäure (µmol/l)	127	405.7 ± 74.9	203-592

¹Patienten mit Diabetesmedikamenten sind ausgeschlossen.

²Patienten mit lipidsenkenden Medikamenten sind ausgeschlossen.

Tabelle 11. Kardiorespiratorische Fitness Indizes der adipösen Männer

	n	MW ± SD	Spannweite
<i>Indizes an der anaeroben Schwelle</i>			
HF-AT (l/min) ¹	114	129.6 ± 16.5	91-173
Watt-AT	129	125.8 ± 36.6	25-225
VO ₂ -AT (l/min)	129	1.78 ± 0.5	0.46-2.98
RQ-AT	129	0.99 ± 0.02	0.86-1.0
<i>Indizes bei Belastungsende (peak)</i>			
HF-peak (l/min) ^{1,2}	111	146.4 ± 17.3	106-197
Watt-peak	133	158.3 ± 47.1	50-275
VO ₂ -peak (l/min)	133	2.19 ± 0.59	0.93-4.06
RQ-peak	133	1.09 ± 0.09	0.9-1.28

¹Patienten mit Betablockern sind ausgeschlossen.

²Patienten mit HF-peak geringer als 60% HF-max. sind ausgeschlossen.

Korrelationen zwischen kardiorespiratorischer Fitness und kardiometabolischen Risikomarkern

Korrelationsanalysen zeigten, dass der BMI positiv korrelierte mit Insulin ($r = 0.30$, $p = 0.007$) und dem HOMA Index ($r = 0.29$, $p = 0.009$), das Alter hingegen mit Glukose ($r = 0.23$, $p = 0.02$), HbA1c ($r = 0.27$, $p = 0.03$) und Chol ($r = 0.21$, $p = 0.03$). Das Gewicht korrelierte positiv mit Insulin ($r = 0.31$, $p = 0.005$) und dem HOMA Index ($r = 0.32$, $p = 0.004$), aber negativ mit Chol ($r = -0.19$, $p = 0.04$). Die Grösse korrelierte mit keinem der kardiometabolischen Risikomarker.

Die Analysen mit den kardiorespiratorischen Fitness Indizes zeigten, dass höhere Watt-peak Werte mit tieferen Insulin Werten ($r = -0.23$, $p = 0.04$), einem tieferen HOMA Index ($r = -0.25$, $p = 0.03$), tieferen HbA1c ($r = -0.35$, $p = 0.004$), TG ($r = -0.24$, $p = 0.01$) und Chol ($r = -0.19$, $p = 0.04$) Werten korrelierten, während die VO_2 -peak Werte invers korrelierten mit dem HbA1c ($r = -0.29$, $p = 0.02$) und den TG Werten ($r = -0.23$, $p = 0.02$). Die Watt-AT Werte korrelierten negativ mit den TG ($r = -0.24$, $p = 0.02$), den Chol ($r = -0.34$, $p < 0.001$) und den LDL ($r = -0.21$, $p = 0.04$) Werten. Die VO_2 -AT Werte korrelierten negativ mit den TG ($r = -0.22$, $p = 0.03$), den Chol ($r = -0.24$, $p = 0.02$) und den LDL ($r = -0.20$, $p = 0.04$) Werten sowie dem Chol/HDL-Quotienten ($r = -0.28$, $p = 0.005$).

Multivariate Regressionsanalysen

Multivariate Regressionsanalysen zeigten, dass das Alter (erklärte Varianzen von 4.6-5.3 %; alle $\beta < 0.24$; alle $p < 0.03$), das Gewicht (erklärte Varianzen von 8.1-9.9 %; alle $\beta < 0.32$; alle $p < 0.02$) und der Raucherstatus (erklärte Varianzen 6.8 %; alle $\beta = 0.26$; alle $p = 0.03$) mit den verschiedenen kardiometabolischen Risikomarkern assoziiert waren. Es gab keinen Einfluss der Grösse auf das kardiometabolische Risikoprofil. Der Einschluss des BMI in die Regressionsmodelle anstelle von Gewicht und Grösse ergab, dass der BMI unabhängig von Alter und kardiorespiratorischen Fitness Indizes mit Insulin und dem HOMA Index (erklärte Varianzen von 7.2-9.0 %; alle $\beta < 0.31$; alle $p < 0.02$) assoziiert war.

Die kardiorespiratorischen Fitness Indizes erklärten einige der Varianzen für verschiedene kardiometabolische Risikomarker. Abbildung 10 zeigt die Resultate der Regressionsanalysen (erklärte Varianzen, R^2 in Prozent) mit Alter, Gewicht, Grösse und Raucherstatus als unabhängige Variable. Watt-peak erklärte 6.0 % der Varianz des TG Spiegels und 12.0 % der Varianz der HbA1c Werte (beide $\beta < -0.23$; beide $p < 0.02$); Watt-AT war ein unabhängiger Prädiktor der LDL, TG und Chol Werte und erklärte 4.4-11.6 % der jeweiligen Varianz (alle $\beta < -0.20$; alle $p < 0.04$). VO_2 -peak erklärte 5.4 % der Varianz des TG Spiegels und 8.1 % der Varianz der HbA1c Werte (beide $\beta < -0.22$, beide $p < 0.02$), während VO_2 -AT eine unabhängige Determinante der LDL, TG und Chol

Werte sowie dem Chol/HDL-Quotienten darstellte (erklärte Varianzen von 4.0-7.7 %; alle $\beta < -0.19$; alle $p < 0.05$).

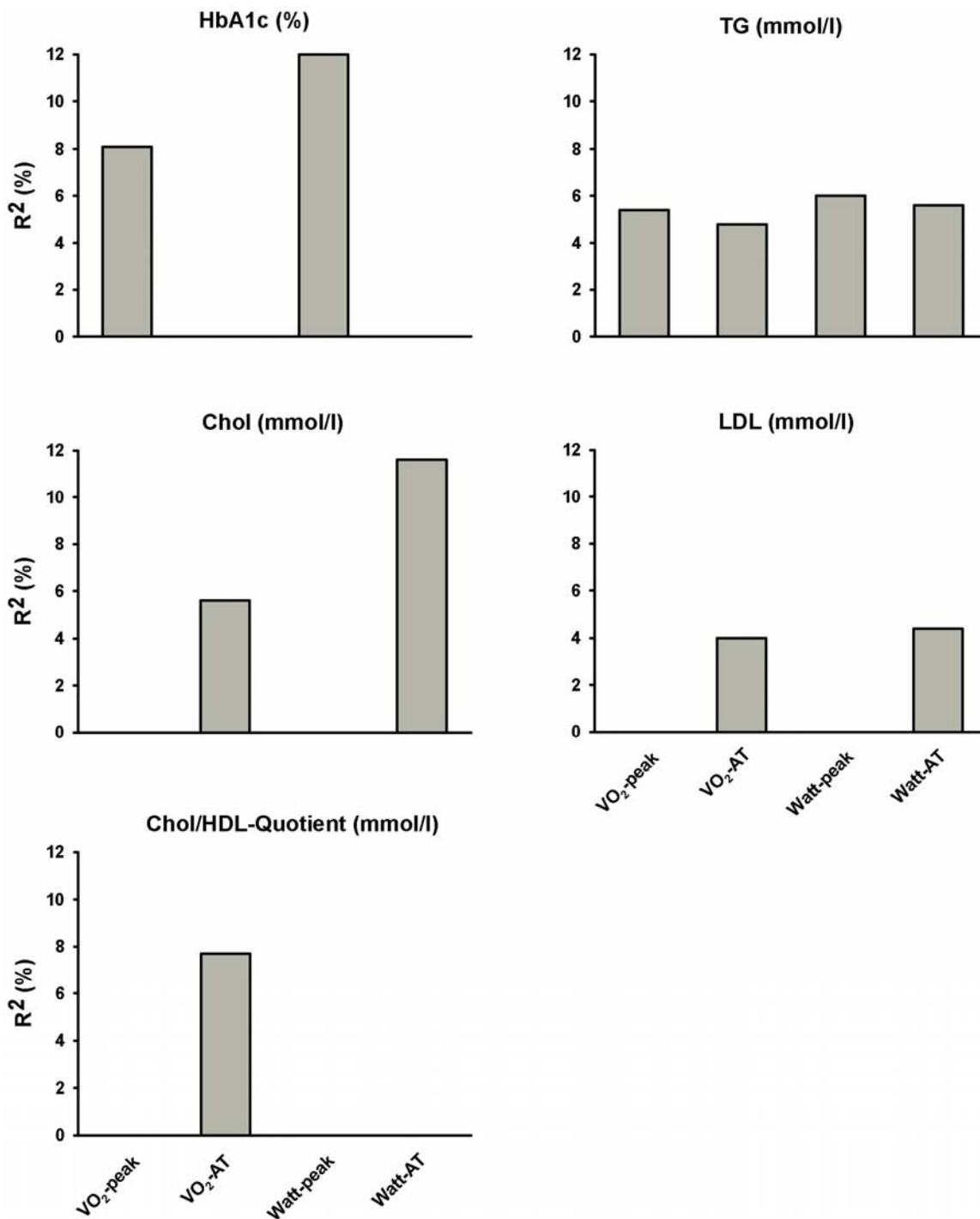


Abbildung 10. Resultate der multiplen schrittweisen linearen Regressionsanalysen (erklärte Varianzen, R^2 in Prozent) mit Alter, Gewicht, Grösse und Raucherstatus als unabhängige Variable. Für HbA1c sind Patienten mit Diabetesmedikamenten von der Analyse ausgeschlossen. Für TG, Chol, LDL und Chol/HDL-Quotient sind Patienten mit lipidsenkenden Medikamenten von der Analyse ausgeschlossen.

3.3.5 Zusammenfassung

Unsere Daten zeigen, dass auch bei Personen mit ausgeprägter Adipositas eine erhöhte kardiorespiratorische Fitness mit einem günstigeren kardiometabolischen Risikoprofil assoziiert ist. Bei Männern scheint dieser Zusammenhang stärker ausgeprägt zu sein als bei Frauen.

3.4 Inwiefern unterscheiden sich schwer adipöse von nicht-adipösen Personen in ihrer sportmotorischen Leistungsfähigkeit?

3.4.1 Einleitung

Schwer adipöse Personen klagen oft über Einschränkungen der körperlichen Funktionsfähigkeit und der Leistungsfähigkeit, was mit einer reduzierten Lebensqualität einhergeht. Querschnittstudien liefern erste Hinweise für eine solche Beziehung zwischen extremer Adipositas und Beeinträchtigungen der körperlichen Leistung und der Alltagsaktivitäten (31;39;44;121). Aber diese Daten zur motorischen Leistungsfähigkeit stammen aus Umfragen und Fragebögen, welche auf Selbsteinschätzung und nicht auf objektiven Messungen basieren.

Es ist hingegen bekannt, dass adipöse Kinder in sportmotorischen Tests, besonders in denjenigen, welche vom Körpergewicht beeinflusst werden, schlechter abschneiden als normalgewichtige Kinder (15;19;20;21;34;78).

Die Anzahl der Studien, welche bei adipösen Erwachsenen die motorische Leistungsfähigkeit objektiv getestet haben, ist sehr begrenzt. Ebenso hat sich bis anhin keine standardisierte Testbatterie für die Erhebung der körperlichen Funktionsfähigkeit schwer adipöser Erwachsener etabliert. In einer Langzeitstudie (114) mit einer Gruppe älterer, adipöser Personen wurden die Geschicklichkeit, Kraft, Gleichgewichtsfähigkeit, Gangart und die Sauerstoffaufnahme bei Belastungsende erhoben. Die Tests wurden in einer Erstuntersuchung und ein Jahr später erhoben. Die Probanden wurden zufällig einer Kontrollgruppe, einer Gewichtsreduktions-Gruppe, einer Trainings-Gruppe oder einer Gewichtsreduktions-Trainings-Gruppe zugeteilt. Diejenige Gruppe mit einer Gewichtsreduktion und gleichzeitigem Ausdauer- und Krafttraining zeigte die besten Verbesserungen ihrer körperlichen Leistungsfähigkeit, verglichen mit den Gruppen mit nur einer Gewichtsreduktion oder einem Training oder mit der Kontrollgruppe.

Ausserdem zeigte eine Querschnittstudie mit einem maximalen Ausbelastungstest auf dem Fahrradergometer, dass schwer adipöse Personen verglichen mit einer normalgewichtigen Kontrollgruppe eine reduzierte kardiopulmonale Fitness respektive geringere Sauerstoffaufnahme bezogen auf das Körpergewicht bei Belastungsende aufwiesen (58). Diese Tatsache führt dazu, dass adipöse Personen schneller ausser Atem geraten, zum Beispiel bei Alltagsaktivitäten wie Treppen steigen oder um den Block gehen.

Es gibt weitere Studien bei adipösen Erwachsenen, welche jedoch jeweils nur selektiv einzelne motorische Fähigkeiten testeten. In einer Studie wurde herausgearbeitet, dass von den 30 getesteten adipösen Personen mit chronischen Rückenschmerzen die

meisten zu Beginn der Testreihe mit einer eingeschränkten Oberkörperbeweglichkeit vom Stuhl aufstanden, was zu einer erhöhten Belastung in den Kniegelenken führte. Auch wenn sie gegen Ende der Testreihe aufgrund der Kniebelastung ihre Strategien änderten und denjenigen der Normalgewichtigen anpassten, war aufgrund des erhöhten Körpergewichts dafür die Belastung im unteren Rücken zugunsten der Kniegelenke angestiegen und höher als die Belastung für Normalgewichtige (40). Weitere Studien haben gezeigt, dass Adipöse langsamer gehen als normalgewichtige Personen und dass eine verminderte Gleichgewichtsfähigkeit mit einem erhöhten Körpergewicht korreliert sowie dass das Körpergewicht 52 % der Varianz der Gleichgewichtsfähigkeit erklärt (57;100).

3.4.2 Methode

Es wurden 45 (33 Frauen) schwer adipöse und 32 (25 Frauen) nicht-adipöse Personen in die Analysen eingeschlossen, welche zwischen Juli 2011 und Oktober 2012 an den sportmotorischen Tests der Bewegungsstudie, welche die Beweglichkeit, Schnelligkeit, Gleichgewichtsfähigkeit, Kraft und die kardiopulmonale Fitness untersuchte, teilgenommen hatten. Die adipösen Personen hatten einen BMI von mindestens 35.0 kg/m² als Einschlusskriterium, während der BMI der nicht-adipösen Kontrollgruppe unter 27.0 kg/m² sein musste. Der Balancier-Test wurde im Laufe der Studie angepasst und erweitert, deshalb sind nicht alle Probanden in beiden Bedingungen (weite und enge Begrenzung) getestet worden. Die kardiopulmonalen Fitness Indizes an der anaeroben Schwelle wurden bei allen Personen erhoben, hingegen musste eine adipöse Person aufgrund ihres zu hohen Blutdruckes (> 250 mmHg) den Test vor Erreichen der individuellen Ausbelastung abbrechen.

3.4.3 Ergebnisse

Probandencharakteristik

Die anthropometrischen Daten und die Körperzusammensetzung der Studiengruppe sind in Tabelle 12 aufgelistet. Alter und Grösse der beiden Gruppen waren vergleichbar (beide $p > 0.25$). Wie erwartet hatten die adipösen Personen ein höheres Körpergewicht, grössere Hüft- und Taillenumfänge sowie abdominaler Sagittal Diameter (SAD), einen höheren Taille-Hüft-Quotienten (waist-to-hip ratio; WHR) und eine höhere absolute und relative FM im Vergleich zu den nicht-adipösen Kontrollen (alle $p < 0.001$). Die adipösen Personen wiesen auch eine höhere FFM auf ($p < 0.001$), hingegen unterschied sich der bioelektrische Phasenwinkel nicht zwischen den beiden Gruppen ($p = 0.14$).

Unabhängig vom Grad der Adipositas waren die Männer grösser, schwerer und wiesen einen grösseren Taillenumfang und SAD, einen höheren WHR, FFM und bioelektrischen Phasenwinkel auf als die Frauen (alle $p < 0.01$). Die relative FM war bei den Männern tiefer als bei den Frauen ($p < 0.001$). Der Hüftumfang und die absolute FM unterschieden sich nicht zwischen den beiden Geschlechtern (beide $p > 0.63$).

Alle Unterschiede in den anthropometrischen und bioelektrischen Variablen zwischen den Adipösen und den Nicht-adipösen bestanden unabhängig vom Geschlecht (alle $p > 0.16$ für die „Gruppe * Geschlecht“ Interaktion), mit Ausnahme der FFM ($p = 0.005$), wo der Unterschied bei den Männern (25.1 kg) viel grösser war als bei den Frauen (14.1 kg).

Tabelle 12. Anthropometrische Daten und Körperzusammensetzung der Probanden aus der Bewegungsstudie

	Adipöse (n = 45) ¹	Nicht- adipöse (n = 32) ²	p Gruppe	p Geschlecht	p Gruppe * Geschlecht
Alter (Jahre)					
Frauen	36.6 ± 2.1	39.7 ± 2.3	0.261	0.072	0.895
Männer	30.5 ± 2.3	34.4 ± 4.6			
Grösse (cm)					
Frauen	166.2 ± 1.2	164.3 ± 1.1	0.622	< 0.001	0.543
Männer	177.7 ± 2.0	177.9 ± 0.7			
Gewicht (kg)					
Frauen	115.3 ± 3.1	61.1 ± 1.3	< 0.001	< 0.001	0.216
Männer	142.4 ± 7.9	77.0 ± 3.2			
BMI (kg/m ²)					
Frauen	41.7 ± 0.9	22.6 ± 0.4	< 0.001	0.056	0.538
Männer	45.0 ± 2.0	24.3 ± 0.9			
Taille (cm)					
Frauen	121.7 ± 2.3	76.9 ± 1.6	< 0.001	0.008	0.786
Männer	131.8 ± 5.2	85.1 ± 3.2			
Hüfte (cm)					
Frauen	134.5 ± 1.9	101.1 ± 1.1	< 0.001	0.635	0.935
Männer	136.0 ± 4.7	102.1 ± 1.8			
WHR					
Frauen	0.90 ± 0.01	0.76 ± 0.02	< 0.001	0.001	0.853
Männer	0.97 ± 0.02	0.83 ± 0.03			
SAD (cm)					
Frauen	19.5 ± 0.9 ³	8.1 ± 0.3	< 0.001	0.003	0.332
Männer	24.0 ± 1.7	10.4 ± 0.8			
FM (kg)					
Frauen	55.9 ± 2.1	16.5 ± 0.9	< 0.001	0.879	0.949
Männer	55.6 ± 4.9	15.9 ± 2.1			
FM (%)					
Frauen	48.3 ± 0.7	26.6 ± 1.0	< 0.001	< 0.001	0.162
Männer	38.5 ± 1.4	20.2 ± 2.2			
FFM (kg)					
Frauen	59.0 ± 1.2	44.9 ± 0.7	< 0.001	< 0.001	0.005
Männer	86.2 ± 3.3 ^a	61.1 ± 1.7 ^{* a}			

Phasenwinkel (°)					
Frauen	6.2 ± 0.1	5.8 ± 0.1	0.141	< 0.001	0.379
Männer	6.8 ± 0.2	6.7 ± 0.3			

Daten sind Mittelwert ± Standardfehler; ¹aufgeteilt in 33 adipöse Frauen und 12 adipöse Männer; ²aufgeteilt in 25 nicht-adipöse Frauen und 7 nicht-adipöse Männer; ³Daten liegen für 31 adipöse Frauen vor; *p < 0.001 vs. Adipöse; ^ap < 0.001 vs. Frauen aus Student's t-Test; p-Werte stammen aus der ANOVA.

Beweglichkeit, Schnelligkeit und Gleichgewicht

Die Resultate aus den Tests der Beweglichkeit, Schnelligkeit und Gleichgewichtsfähigkeit werden in der Tabelle 13 aufgezeigt. Die adipösen Personen wiesen, verglichen mit der nicht-adipösen Kontrollgruppe, eine reduzierte Schulterbeweglichkeit auf (p < 0.001), aber keine Beeinträchtigung in der Beweglichkeit der „Hamstrings“ (p = 0.3).

Die Schnelligkeitstests „timed lying to standing“ und „timed up and go“ zeigten, dass die Adipösen 20.6 % und 16.8 %, respektive 0.35 s und 1.10 s langsamer waren als die Nicht-adipösen (beide p < 0.007).

Bei der Analyse der Gleichgewichtstestergebnisse konnten wir feststellen, dass die Adipösen mehr Fehler machten bei der weiten Begrenzung des Balancier-Tests als die Nicht-adipösen (p = 0.03), und dass die Resultate bei der engen Begrenzung in die gleiche Richtung tendierten, die Unterschiede jedoch das Signifikanzniveau nicht erreichten (p = 0.08). Die benötigte Zeit unterschied sich bei beiden Begrenzungen nicht zwischen den beiden Gruppen (beide p > 0.16).

Wenn man die beiden Geschlechter vergleicht, zeigten die Frauen eine bessere Beweglichkeit der „Hamstrings“ (p = 0.04) und machten bei der engen Begrenzung des Balancier-Tests weniger Fehler (p = 0.02) als die Männer. Allerdings hatte das Geschlecht keinen Einfluss auf die Unterschiede zwischen den adipösen und den nicht-adipösen Personen (alle p > 0.05 für die „Gruppe * Geschlecht“ Interaktionen) bei allen durchgeführten Tests.

Tabelle 13. Beweglichkeit, Schnelligkeit und Gleichgewichtsfähigkeit der Studiengruppe

	Adipöse (n = 45) ¹	Nicht- adipöse (n = 32) ²	p Gruppe	p Geschlecht	p Gruppe * Geschlecht
<i>Beweglichkeit</i>					
Hamstring Beweglichkeit (cm)					
Frauen	-0.9 ± 2.3	2.2 ± 2.0	0.295	0.039	0.914
Männer	-8.3 ± 3.8	-4.4 ± 4.3			
Schulterbeweglichkeit (cm)					
Frauen	1.5 ± 0.5	11.0 ± 1.5	< 0.001	0.471	0.768
Männer	0.9 ± 0.3	9.6 ± 2.4			
<i>Schnelligkeit</i>					
Timed lying to standing (s)					
Frauen	1.8 ± 0.1	1.4 ± 0.1	0.006	0.143	0.627
Männer	1.5 ± 0.1	1.3 ± 0.1			
Timed up and go (s)					
Frauen	6.5 ± 0.2	5.5 ± 0.2	< 0.001	0.876	0.662
Männer	6.6 ± 0.4	5.3 ± 0.2			
<i>Gleichgewicht</i>					
Balancieren, weite Begrenzung (Fehler)					
Frauen	0.3 ± 0.1	0.25 ± 0.2 ^e	0.030	0.409	0.053
Männer	0.9 ± 0.3	0.0 ± 0.0			
Balancieren, weite Begrenzung (s)					
Frauen	4.7 ± 0.3 ^a	3.6 ± 0.3 ^f	0.181	0.726	0.139
Männer	4.0 ± 0.3 ^c	4.1 ± 0.2 ^h			
Balancieren, enge Begrenzung (Fehler)					
Frauen	2.0 ± 0.3 ^b	1.1 ± 0.2 ^g	0.082	0.024	0.739
Männer	2.9 ± 0.5 ^d	2.3 ± 1.1 ⁱ			
Balancieren, enge Begrenzung (s)					
Frauen	5.0 ± 0.4 ^b	3.7 ± 0.3 ^g	0.163	0.922	0.398
Männer	4.4 ± 0.5 ^d	4.2 ± 0.6 ⁱ			

Daten sind Mittelwert ± Standardfehler; ¹aufgeteilt in 33 adipöse Frauen und 12 adipöse Männer; ²aufgeteilt in 25 nicht-adipöse Frauen und 7 nicht-adipöse Männer; ^{a,b}Daten liegen für 27 respektive 19 adipöse Frauen vor; ^{c,d}Daten liegen für 11 respektive 10 adipöse Männer vor; ^{e,f,g}Daten liegen für 24 respektive 22 und 21 nicht-adipöse Frauen vor; ^{h,i}Daten liegen für 6 respektive 4 nicht-adipöse Männer vor; p-Werte stammen aus der ANOVA.

Isometrische Maximalkraft

Die Resultate zu den Tests der isometrischen Maximalkraft werden in Tabelle 14 dargestellt. Im Krafttest der oberen Rückenmuskulatur zeigten die Adipösen höhere absolute Werte im Vergleich zur Kontrollgruppe ($p < 0.001$). Setzt man jedoch die Leistung in Bezug zum Körpergewicht, war die relative Kraft der Adipösen viel geringer als die der Nicht-adipösen ($p = 0.001$), hingegen gab es in der relativen Kraft bezogen auf die fettfreie Masse keine Gruppenunterschiede ($p = 0.095$).

Die absolute Kraft der Bein-Extensoren war bei den Adipösen höher als bei der Kontrollgruppe (beide $p < 0.002$), die relative Kraft bezogen auf das Körpergewicht allerdings geringer (beide $p < 0.001$). Bezogen auf die fettfreie Masse gab es wiederum keine Gruppenunterschiede (beide $p > 0.7$).

Die Resultate zur Kraft der Bein-Flexoren zeigten ein Muster, welches sich klar von den Resultaten zur Kraft der Rückenmuskulatur und der Bein-Extensoren unterschied. Absolut betrachtet konnten nämlich keine Gruppenunterschiede aufgezeigt werden (beide $p > 0.8$), hingegen war die relative Kraft bezogen auf das Körpergewicht sowie die fettfreie Masse der Adipösen geringer als die der nicht-adipösen Personen (alle $p < 0.002$). Betrachtet man den Flexion/Extension-Quotienten für das rechte und das linke Bein, zeigten die Adipösen tiefere Werte als die Nicht-adipösen (beide $p < 0.001$).

Wie erwartet erreichten die Männer in allen Tests zur isometrischen Maximalkraft höhere absolute Werte verglichen mit den Frauen (alle $p < 0.012$). Bezogen auf das Körpergewicht erreichten die Männer höhere Kraftwerte für die Rückenmuskulatur und die Flexion des rechten Beines als die Frauen (beide $p < 0.005$). Wenn man die Kraftwerte in Bezug setzte zur fettfreien Masse konnten in allen Tests keine Unterschiede zwischen Frauen und Männern festgestellt werden (alle $p > 0.09$). Der Flexion/Extension-Quotient zeigte bei den Männern nur für das rechte Bein signifikant höhere Werte ($p = 0.015$) als bei den Frauen. Keine der gefundenen Geschlechterunterschiede beeinflussten die Leistungsunterschiede in den Krafttests zwischen den Adipösen und den Nicht-adipösen ($p > 0.12$ für alle „Gruppe * Geschlecht“ Interaktionen).

Tabelle 14. Absolute und relative isometrische Maximalkraft der Studiengruppe

	Adipöse (n = 45) ¹	Nicht- adipöse (n = 32) ²	p Gruppe	p Geschlecht	p Gruppe * Geschlecht
<i>Rückenmuskulatur</i>					
Absolute Kraft (N)					
Frauen	376 ± 19.0	245 ± 10.1	< 0.001	< 0.001	0.392
Männer	540 ± 37.2	366 ± 18.7			
KG-bezogene Kraft (N/kg)					
Frauen	3.3 ± 0.1	4.0 ± 0.1	0.001	0.002	0.778
Männer	3.9 ± 0.4	4.8 ± 0.2			
FFM-bezogene Kraft (N/kg)					
Frauen	6.4 ± 0.3	5.5 ± 0.2	0.095	0.506	0.449
Männer	6.3 ± 0.5	6.0 ± 0.2			
<i>Bein-Extension rechts</i>					
Absolute Kraft (N)					
Frauen	280 ± 15.9	213 ± 13.4	< 0.001	0.007	0.336
Männer	359 ± 19.1	251 ± 19.3			
KG-bezogene Kraft (N/kg)					
Frauen	2.4 ± 0.1	3.5 ± 0.2	< 0.001	0.865	0.398
Männer	2.6 ± 0.2	3.3 ± 0.2			
FFM-bezogene Kraft (N/kg)					
Frauen	4.7 ± 0.2	4.8 ± 0.3	0.919	0.096	0.884
Männer	4.2 ± 0.3	4.1 ± 0.3			
<i>Bein-Extension links</i>					
Absolute Kraft (N)					
Frauen	288 ± 18.4	211 ± 12.6	0.001	0.011	0.984
Männer	347 ± 19.9	271 ± 18.8			
KG-bezogene Kraft (N/kg)					
Frauen	2.5 ± 0.1	3.5 ± 0.2	< 0.001	0.742	0.908
Männer	2.5 ± 0.2	3.6 ± 0.3			
FFM-bezogene Kraft (N/kg)					
Frauen	4.9 ± 0.3	4.7 ± 0.3	0.792	0.178	0.461
Männer	4.1 ± 0.3	4.5 ± 0.4			

<i>Bein-Flexion rechts</i>						
Absolute Kraft (N)						
Frauen	112 ± 7.5	102 ± 5.3	0.870	< 0.001	0.475	
Männer	159 ± 16.0	165 ± 20.2				
KG-bezogene Kraft (N/kg)						
Frauen	1.0 ± 0.1	1.7 ± 0.1	< 0.001	0.004	0.227	
Männer	1.2 ± 0.2	2.2 ± 0.2				
FFM-bezogene Kraft (N/kg)						
Frauen	1.9 ± 0.1	2.3 ± 0.1	0.001	0.239	0.203	
Männer	1.9 ± 0.2	2.7 ± 0.3				
<i>Bein-Flexion links</i>						
Absolute Kraft (N)						
Frauen	115 ± 7.1	103 ± 4.6	0.867	< 0.001	0.195	
Männer	139 ± 13.4	154 ± 17.1				
KG-bezogene Kraft (N/kg)						
Frauen	1.0 ± 0.1	1.7 ± 0.1	< 0.001	0.115	0.202	
Männer	1.0 ± 0.1	2.0 ± 0.3				
FFM-bezogene Kraft (N/kg)						
Frauen	2.0 ± 0.1	2.3 ± 0.1	0.001	0.903	0.126	
Männer	1.7 ± 0.2	2.6 ± 0.3				
<i>Flexion/Extension-Quotient (%)</i>						
Rechtes Bein						
Frauen	40.4 ± 2.3	51.1 ± 3.5	< 0.001	0.015	0.141	
Männer	44.8 ± 4.1	68.9 ± 9.9				
Linkes Bein						
Frauen	41.4 ± 2.4	51.9 ± 3.2	< 0.001	0.490	0.384	
Männer	40.6 ± 4.2	58.5 ± 8.3				

Daten sind Mittelwert ± Standardfehler; ¹aufgeteilt in 33 adipöse Frauen und 12 adipöse Männer; ²aufgeteilt in 25 nicht-adipöse Frauen und 7 nicht-adipöse Männer; p-Werte stammen aus der ANOVA.

Kardiopulmonale Fitness

Die Resultate des kardiopulmonalen Fitness Tests sind in Tabelle 15 aufgelistet. Bei Belastungsende waren die absoluten Watt-peak Werte bei den Adipösen tiefer als bei der Kontrollgruppe ($p = 0.001$), die absoluten VO_2 -peak Werte unterschieden sich hingegen nicht zwischen den beiden Gruppen ($p = 0.31$). Entsprechend waren bei den Adipösen auch die GE-peak Werte tiefer ($p = 0.012$). Bezieht man die Watt-peak und VO_2 -peak Werte auf das Körpergewicht und die fettfreie Masse, waren die Watt-peak/KG, Watt-peak/FFM, VO_2 -peak/KG und VO_2 -peak/FFM Werte bei den Adipösen signifikant tiefer als bei den Nicht-adipösen (alle $p < 0.001$).

An der anaeroben Schwelle liess sich ein ähnliches Muster erkennen. Die Adipösen zeigten tiefere absolute Watt-AT Werte als die Nicht-adipösen ($p = 0.039$), hingegen waren die absoluten VO_2 -AT Werte zwischen den beiden Gruppen nicht signifikant verschieden ($p = 0.059$). Dies führte zu signifikant tieferen GE-AT Werten der adipösen Probanden ($p < 0.001$). Bezieht man wiederum die Watt-AT und VO_2 -AT Werte auf das Körpergewicht und die fettfreie Masse, resultierten daraus tiefere Watt-AT/KG, Watt-AT/FFM sowie VO_2 -AT/KG und VO_2 -AT/FFM Werte für die adipöse Gruppe (alle $p < 0.02$). Die adipöse Gruppe absolvierte 31.2 % ihrer Gesamtleistung über der individuellen AT, in der nicht-adipösen Gruppe war dieser Anteil mit 40.4 % viel höher ($p < 0.001$).

Vergleiche zwischen den zwei Geschlechtern zeigten für die Männer höhere Watt-peak, Watt-peak/KG, VO_2 -peak, VO_2 -peak/KG, Watt-AT, VO_2 -AT und VO_2 -AT/KG Werte (alle $p < 0.03$), aber tiefere GE-AT Werte ($p = 0.025$) als für die Frauen. Das Geschlecht beeinflusste die gefundenen Unterschiede zwischen den Adipösen und den Nicht-adipösen in den kardiopulmonalen Fitness Indizes (alle $p > 0.059$ für die „Gruppe * Geschlecht“ Interaktionen) mit Ausnahme von Watt-peak aber nicht. Der Unterschied in den Watt-peak Werten zwischen den Adipösen und der nicht-adipösen Kontrollgruppe war bei den Männern viel grösser (± 51 Watt) als bei den Frauen (± 11 Watt; $p = 0.032$ für die „Gruppe * Geschlecht“ Interaktion).

Die objektive Messung des Grades der metabolischen und kardialen Ausbelastung bei Belastungsende, bestimmt durch den RQ-peak sowie den erreichten Prozentanteil der berechneten maximalen Herzfrequenz, zeigte bei den Adipösen tiefere Werte als bei den Nicht-adipösen (beide $p < 0.002$). Interessanterweise gab es im Grad des subjektiven Belastungsempfindens, ermittelt mit der Borg Skala, keine Gruppenunterschiede ($p = 0.32$). Die Männer zeigten höhere HF-peak Werte als die Frauen ($p = 0.047$), während sie sich in den RQ-peak, % der berechneten HF-max. und RPE Werten nicht von den Frauen unterschieden (alle $p > 0.11$). Weitere Analysen zeigten keine signifikanten „Gruppe * Geschlecht“ Interaktionen für alle Ausbelastungsvariablen (alle $p > 0.25$).

Tabelle 15. Kardiopulmonale Fitness der Studiengruppe

	Adipöse (n = 45) ¹	Nicht- adipöse (n = 32) ²	p Gruppe	p Geschlecht	p Gruppe * Geschlecht
<i>Indizes an der anaeroben Schwelle</i>					
HF-AT (l/min)					
Frauen	133 ± 2.5	138 ± 3.6	0.976	0.570	0.094
Männer	141 ± 5.4	130 ± 7.5			
Watt-AT (W)					
Frauen	105 ± 3.3	113 ± 5.6	0.039	< 0.001	0.378
Männer	129 ± 8.6	150 ± 13.4			
Watt-AT/KG (W/kg)					
Frauen	0.93 ± 0.03	1.90 ± 0.10	< 0.001	0.695	0.888
Männer	0.96 ± 0.10	1.95 ± 0.14			
Watt-AT/FFM (W/kg)					
Frauen	1.79 ± 0.06	2.52 ± 0.12	< 0.001	0.204	0.440
Männer	1.53 ± 0.13	2.45 ± 0.20			
VO ₂ -AT (l/min)					
Frauen	1.64 ± 0.07	1.46 ± 0.08	0.059	< 0.001	0.599
Männer	2.43 ± 0.22	2.12 ± 0.19			
VO ₂ -AT/KG (ml/min/kg)					
Frauen	14.4 ± 0.5	24.4 ± 1.3	< 0.001	0.026	0.970
Männer	17.8 ± 2.1	27.7 ± 2.3			
VO ₂ -AT/FFM (ml/min/kg)					
Frauen	27.9 ± 1.0	32.4 ± 1.6	0.013	0.477	0.743
Männer	28.7 ± 3.0	34.6 ± 2.7			
RQ-AT					
Frauen	0.94 ± 0.004	0.96 ± 0.005	0.010	0.426	0.833
Männer	0.93 ± 0.01	0.95 ± 0.01			
GE-AT (%)					
Frauen	18.9 ± 0.6	23.2 ± 1.3	< 0.001	0.025	0.816
Männer	15.8 ± 0.6	20.7 ± 1.2			
<i>Indizes am Belastungsende</i>					
HF-peak (l/min)					
Frauen	157 ± 3.6	170 ± 2.8	0.020	0.047	0.826
Männer	168 ± 4.6 ³	178 ± 7.4			

Watt-peak (W)						
Frauen	144 ± 5.7	155 ± 6.5				
Männer	188 ± 8.5 ^{3, a}	239 ± 16.2 ^{*, a}	0.001	< 0.001	0.032	
Watt-peak/KG (W/kg)						
Frauen	1.28 ± 0.05	2.59 ± 0.11				
Männer	1.37 ± 0.11 ³	3.13 ± 0.19	< 0.001	0.010	0.074	
Watt-peak/FFM (W/kg)						
Frauen	2.46 ± 0.10	3.44 ± 0.12				
Männer	2.22 ± 0.14 ³	3.92 ± 0.23	< 0.001	0.470	0.060	
VO ₂ -peak (l/min)						
Frauen	2.42 ± 0.11	2.42 ± 0.11				
Männer	3.49 ± 0.17 ³	3.82 ± 0.26	0.308	< 0.001	0.323	
VO ₂ -peak/KG (ml/min/kg)						
Frauen	21.1 ± 0.9	39.1 ± 1.8				
Männer	24.7 ± 2.1 ³	49.7 ± 3.1	< 0.001	< 0.001	0.073	
VO ₂ -peak/FFM (ml/min/kg)						
Frauen	41.1 ± 1.7	53.8 ± 2.0				
Männer	40.9 ± 2.8 ³	62.5 ± 3.8	< 0.001	0.121	0.100	
RQ-peak						
Frauen	1.11 ± 0.01	1.17 ± 0.02				
Männer	1.08 ± 0.02 ³	1.15 ± 0.03	0.001	0.118	0.897	
RPE						
Frauen	15.8 ± 0.3	15.7 ± 0.3				
Männer	15.3 ± 0.5 ³	16.3 ± 0.9	0.319	0.957	0.255	
% der berechneten HF-max.						
Frauen	85.3 ± 1.6	94.1 ± 1.3				
Männer	88.4 ± 2.7 ³	96.0 ± 2.7	0.001	0.279	0.806	
GE-peak (%)						
Frauen	16.8 ± 0.4	17.8 ± 0.5				
Männer	15.3 ± 0.5 ³	17.3 ± 0.2	0.012	0.100	0.383	
VO ₂ über AT (%)						
Frauen	31.5 ± 1.4	39.2 ± 2.1				
Männer	30.3 ± 3.6 ³	44.5 ± 2.9	< 0.001	0.433	0.220	

Daten sind Mittelwert ± Standardfehler; ¹aufgeteilt in 33 adipöse Frauen und 12 adipöse Männer; ²aufgeteilt in 25 nicht-adipöse Frauen und 7 nicht-adipöse Männer; ³Daten liegen für 11 adipöse Männer vor; *p < 0.001 vs. Adipöse; ^ap < 0.01 vs. Frauen aus Student's t-Test; p-Werte stammen aus der ANOVA.

3.4.4 Zusammenfassung

Unsere Daten zeigen, dass die Adipösen in der Schnelligkeit sowie teilweise in der Beweglichkeit und Gleichgewichtsfähigkeit eingeschränkt waren. Relativ betrachtet, bezogen auf das individuelle Körpergewicht, wiesen die Adipösen verminderte Kraftwerte auf im Vergleich zu den Nicht-adipösen. Bezogen auf die fettfreie Masse hingegen war nur die Kraft der Bein-Flexoren vermindert, in der Kraft der Rückenmuskulatur sowie der Bein-Extensoren liessen sich keine Gruppenunterschiede feststellen. Die absolute Kraft war mit Ausnahme der Bein-Flexoren deutlich erhöht. Das Kraftverhältnis des Flexion/Extension-Quotienten war für beide Beine geringer bei den Adipösen im Vergleich zu den nicht-adipösen Personen. Die relative kardiopulmonale Fitness, bezogen auf das Körpergewicht sowie die fettfreie Masse, hat sich als beeinträchtigt herausgestellt. Die absolute O_2 -Aufnahme an der aerob-anaeroben Schwelle sowie bei Belastungsende war vergleichbar, während die absolut geleistete Watt-Zahl an der aerob-anaeroben Schwelle sowie bei Belastungsende in der adipösen Gruppe deutlich geringer war. Der Anteil an der Gesamtleistung, welcher über der anaeroben Schwelle geleistet wurde, war bei den Adipösen viel geringer als bei den Nicht-adipösen, was auf eine geringere Belastungstoleranz hinweist. Der objektiv gemessene Grad der Ausbelastung bei Belastungsende war in der adipösen Gruppe deutlich vermindert, interessanterweise aber hat sich im subjektiven Belastungsempfinden kein Gruppenunterschied herausgestellt, was wiederum auf eine verminderte Belastungstoleranz schliessen lässt.

3.5 Zeigen schwer adipöse Personen drei Monate nach bariatrischer Chirurgie eine Veränderung in ihrer sportmotorischen Leistungsfähigkeit? Inwiefern unterscheiden sie sich nach der Operation von nicht-adipösen Personen?

3.5.1 Einleitung

Obwohl die Adipositas als ein Hauptrisikofaktor für Beeinträchtigungen der körperlichen Funktionen und motorischen Fähigkeiten gilt, haben bisher nur wenige Studien den Einfluss eines extremen Gewichtsverlustes nach bariatrischer Chirurgie auf die motorische Leistungsfähigkeit untersucht.

In der Studie von Miller et al. (82) wurden die motorischen Fähigkeiten vor sowie drei, sechs und zwölf Monate nach bariatrischer Chirurgie erhoben. Die motorische Leistungsfähigkeit wurde mit dem "lateral mobility task" (ins Auto ein- und aussteigen) und der "Short Physical Performance Battery" (SPPB), welche Tests zur Gleichgewichtsfähigkeit und Schnelligkeit beinhaltet, gemessen. Auch die Kraft der Bein-Extensoren wurde gemessen. Drei Monate nach der Operation zeigten sich signifikante Verbesserungen in der gesamten SPPB. Ebenfalls brauchten die Probanden drei Monate nach der Operation weniger Zeit, um ins Auto ein- und auszusteigen. Die absolute und relative (bezogen auf das aktuelle Körpergewicht) Kraft der Bein-Extensoren unterschied sich hingegen drei Monate nach der Operation nicht signifikant von der präoperativen Messung. Auch in der Studie von Josbeno et al. (64) zeigten sich drei Monate nach der Operation signifikante Verbesserungen in der SPPB.

Eine ganz aktuelle Studie (111) zeigte, dass drei Monate nach bariatrischer Chirurgie eine längere Distanz im 6 Minuten Geh-Test gelaufen wurde und sich die Schnelligkeit und Gleichgewichtsfähigkeit, gemessen mit dem TUG-Test, signifikant verbesserten.

3.5.2 Methode

Zur Beantwortung der oben genannten Fragestellungen testeten wir im Rahmen der Bewegungsstudie zwischen August 2011 und Mai 2013 25 schwer adipöse Personen (22 Frauen) hinsichtlich ihrer motorischen Fähigkeiten (Beweglichkeit, Schnelligkeit, Gleichgewichtsfähigkeit und Kraft) vor und drei Monate nach bariatrischer Chirurgie. Die durchschnittlich vergangene Zeit seit der Operation betrug 91 Tage (Spannweite, 83-97 Tage). 24 Patienten (21 Frauen) erhielten einen Roux-en Y Magenbypass und eine Frau eine Schlauchmagenresektion. Alle Probanden hatten präoperativ einen BMI ≥ 35.0

kg/m². Im Rahmen des Querschnitts der Bewegungsstudie testeten wir 32 nicht-adipöse Personen (25 Frauen), welche wir bei dieser Untersuchung wieder als Vergleichsgruppe herangezogen hatten. Die nicht-adipöse Kontrollgruppe wies einen BMI zwischen 19.0 und 26.9 kg/m² auf. Der Balancier-Test wurde im Laufe der Studie angepasst und erweitert, deshalb sind nicht alle Probanden in beiden Bedingungen getestet worden. Für die weite Begrenzung wurden 23 Adipöse (gemessene Zeit) sowie 31 (Anzahl Fehler) respektive 28 (gemessene Zeit) nicht-adipöse Personen getestet. Die Daten von 17 adipösen und 25 nicht-adipösen Probanden waren für die enge Begrenzung (Anzahl Fehler und gemessene Zeit) vorhanden.

3.5.3 Ergebnisse

Probandencharakteristik

Die Adipösen unterschieden sich in Alter und Grösse nicht signifikant von der nicht-adipösen Kontrollgruppe (34.8 ± 2.3 Jahre vs. 38.5 ± 2.1 Jahre; $p = 0.24$; 166.1 ± 1.4 cm vs. 167.3 ± 1.3 cm; $p = 0.56$).

Die anthropometrischen Daten und die Körperzusammensetzung der Studiengruppe sind in Tabelle 16 dargestellt. Erwartungsgemäss waren Körpergewicht, BMI, Taillen- und Hüftumfang, WHR, SAD sowie absolute und relative FM deutlich geringer nach der Operation (alle $p < 0.006$). Die adipösen Probanden zeigten postoperativ auch eine verminderte FFM sowie einen tieferen Phasenwinkel (beide $p < 0.001$).

Im Vergleich zur nicht-adipösen Gruppe waren alle anthropometrischen Variablen und die Variablen zur Körperzusammensetzung, mit Ausnahme des bioelektrischen Phasenwinkels ($p = 0.33$), höher in der adipösen Gruppe vor Operation (alle $p < 0.001$). Nach der Operation waren Körpergewicht, BMI, Taillen- und Hüftumfang, WHR, SAD, absolute und relative FM sowie FFM immer noch höher bei den Adipösen im Vergleich zur nicht-adipösen Kontrollgruppe (alle $p < 0.003$), der bioelektrische Phasenwinkel hingegen war tiefer ($p < 0.001$).

Tabelle 16. Anthropometrische Daten und Körperzusammensetzung der Adipösen prä- und postoperativ sowie der Nicht-adipösen

	Adipöse (n = 25)		p-Wert ¹	Nicht-adipöse (n = 32)		p-Wert ³
	Präoperativ	Postoperativ		p-Wert ²		
Gewicht (kg)	120.2 ± 4.5	97.0 ± 3.9	< 0.001	64.6 ± 1.7	< 0.001	< 0.001
BMI (kg/m ²)	43.4 ± 1.3	34.9 ± 1.1	< 0.001	23.0 ± 0.4	< 0.001	< 0.001
Taille (cm)	122.9 ± 2.9	105.6 ± 2.6	< 0.001	78.7 ± 1.6	< 0.001	< 0.001
Hüfte (cm)	137.2 ± 2.5	123.3 ± 2.6	< 0.001	101.3 ± 0.9	< 0.001	< 0.001
WHR	0.90 ± 0.01	0.86 ± 0.01	0.005	0.78 ± 0.01	< 0.001	< 0.001
SAD (cm)	20.3 ± 1.1	15.1 ± 0.7	< 0.001	8.6 ± 0.3	< 0.001	< 0.001
FM (kg)	57.9 ± 2.5	40.3 ± 2.6	< 0.001	16.4 ± 0.8	< 0.001	< 0.001
FM (%)	48.1 ± 0.8	40.8 ± 1.3	< 0.001	25.2 ± 1.0	< 0.001	< 0.001
FFM (kg)	61.8 ± 2.3	55.9 ± 1.8	< 0.001	48.4 ± 1.4	< 0.001	0.002
Phasenwinkel (°)	6.2 ± 0.1	5.1 ± 0.1	< 0.001	6.0 ± 0.1	0.334	< 0.001

Daten sind Mittelwert ± Standardfehler.

¹für den Vergleich zwischen prä- und postoperativem Status mittels gepaartem t-Test.

²für den Vergleich zwischen Nicht-adipösen und präoperativen Adipösen mittels ungepaartem t-Test.

³für den Vergleich zwischen Nicht-adipösen und postoperativen Adipösen mittels ungepaartem t-Test.

Beweglichkeit, Schnelligkeit und Gleichgewicht

In der Beweglichkeit der „Hamstrings“ unterschieden sich die Adipösen weder vor (-0.3 ± 2.7 cm) noch nach (2.4 ± 2.3 cm) der Operation von der Kontrollgruppe (0.8 ± 1.8 cm; beide $p > 0.55$). Auch die Veränderung nach der chirurgisch induzierten Gewichtsabnahme war nicht signifikant ($p = 0.23$) im Vergleich zu den präoperativen Werten.

Die Schulterbeweglichkeit war bei den Adipösen beeinträchtigt verglichen mit der nicht-adipösen Gruppe (1.4 ± 0.5 cm vs. 10.7 ± 1.2 cm; $p < 0.001$). Nach der Operation wiesen die Adipösen eine beachtliche Verbesserung ihrer Schulterbeweglichkeit auf (4.8 ± 1.1 cm; $p = 0.001$), aber ihre Werte waren immer noch schlechter im Vergleich zur Kontrollgruppe ($p = 0.001$; Abbildung 11 A).

In beiden Tests, welche die Schnelligkeit missten („timed lying to standing“ und „timed up and go“), brauchten die Adipösen mehr Zeit als die Nicht-adipösen (1.6 ± 0.1 s vs. 1.4 ± 0.1 s und 6.4 ± 0.2 s vs. 5.5 ± 0.2 s; beide $p < 0.003$). Nach der Operation verringerte sich die benötigte Zeit beim „timed lying to standing“ Test auf 1.5 ± 0.1 s ($p = 0.03$) und unterschied sich somit nicht mehr signifikant von der benötigten Zeit gemessen in der Kontrollgruppe ($p = 0.075$; Abbildung 11 B). Die Leistung im „timed up and go“ Test verbesserte sich nicht signifikant nach der Operation (6.3 ± 0.2 s; $p = 0.75$) und war somit immer noch schlechter im Vergleich zur Kontrollgruppe ($p = 0.003$).

Die adipöse Gruppe brauchte vor Operation für beide Bedingungen (weite und enge Begrenzung) des Balancier-Tests länger als die nicht-adipöse Kontrollgruppe (4.7 ± 0.3 s vs. 3.7 ± 0.2 s und 4.8 ± 0.5 s vs. 3.8 ± 0.3 s; beide $p < 0.05$), hingegen unterschieden sich die beiden Gruppen bei beiden Bedingungen nicht in der Anzahl der gemachten Fehler (0.4 ± 0.1 vs. 0.2 ± 0.1 und 1.8 ± 0.3 vs. 1.2 ± 0.3 ; beide $p > 0.1$). Die Adipösen konnten nach der Operation bei der weiten Begrenzung ihre Zeit auf 3.6 ± 0.2 s verbessern, bei der engen Begrenzung auf 4.1 ± 0.3 s (beide $p < 0.03$), die Fehleranzahl blieb aber sowohl für die weite (0.2 ± 0.1) wie auch für die enge Begrenzung (1.6 ± 0.3) konstant (beide $p > 0.2$). Beim Vergleich der adipösen Gruppe nach der Operation mit der nicht-adipösen Kontrollgruppe liessen sich für beide Bedingungen weder in der gemessenen Zeit noch in der Anzahl der gemachten Fehler signifikante Unterschiede feststellen (alle $p > 0.4$; Abbildung 11 C und 11 D).

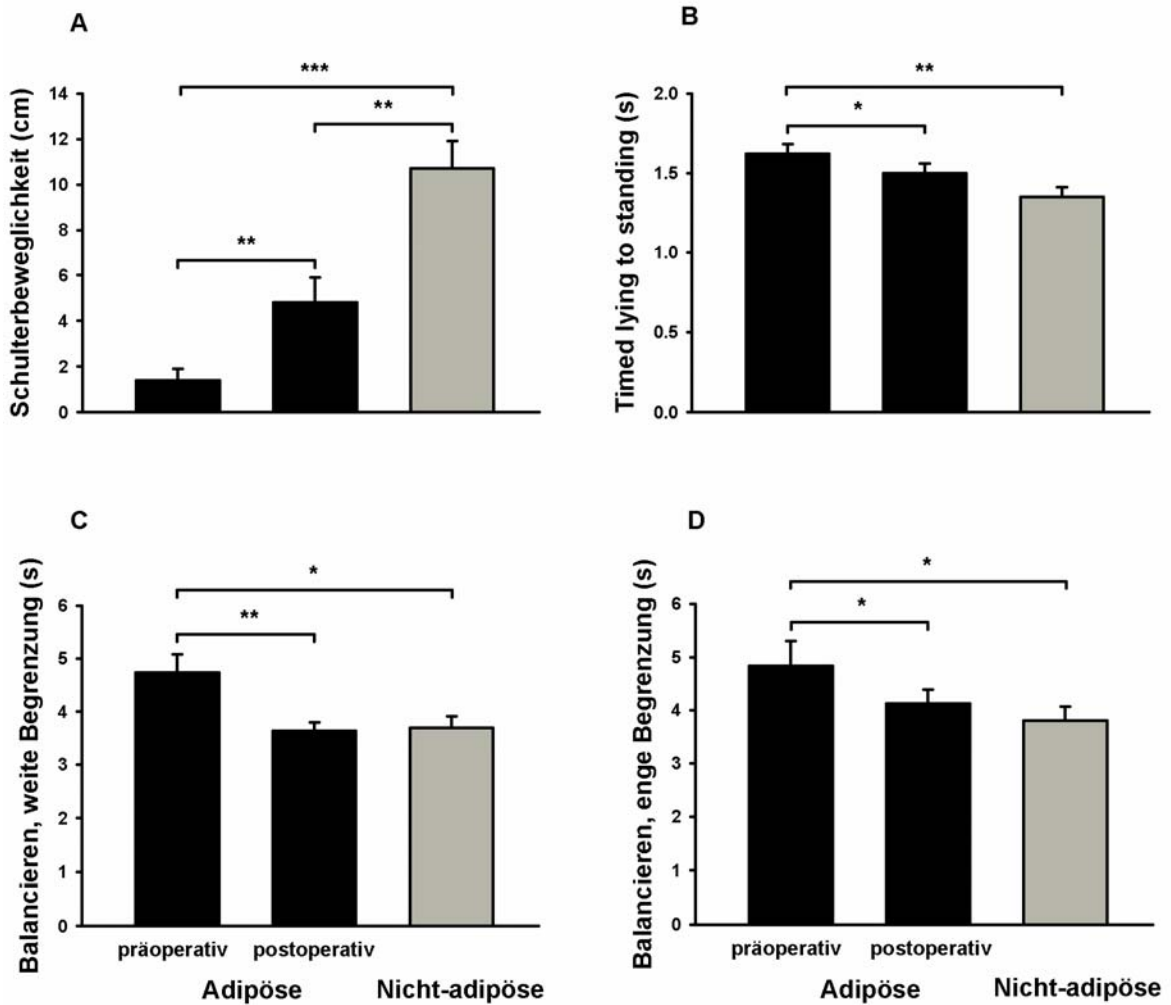


Abbildung 11. Resultate folgender Tests: Schulterbeweglichkeit (A), timed lying to standing (B), und Balancieren (weite Begrenzung, C; enge Begrenzung, D) der adipösen Gruppe vor und drei Monate nach bariatrischer Chirurgie sowie der nicht-adipösen Kontrollgruppe. Daten sind Mittelwert \pm Standardfehler. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ für die gepaarten und ungepaarten t-Tests. C: Daten sind für 23 adipöse und 28 nicht-adipöse Probanden vorhanden. D: Daten sind für 17 adipöse und 25 nicht-adipöse Probanden vorhanden.

Isometrische Maximalkraft

Die Resultate zur absoluten und relativen isometrischen Maximalkraft sind in Tabelle 17 dargestellt. In den Krafttests der oberen Rückenmuskulatur und der Bein-Extensoren zeigten die Adipösen vor Operation höhere absolute Werte im Vergleich zur Kontrollgruppe (alle $p < 0.002$), hingegen gab es keine Gruppenunterschiede in der Kraft der Bein-Flexoren (beide $p > 0.46$). Wenn man die gesamten Tests zur isometrischen Maximalkraft auf das Körpergewicht bezieht, erzielten die Adipösen relativ betrachtet präoperativ schlechtere Resultate als die Nicht-adipösen (alle $p < 0.001$). Bezogen auf die fettfreie Masse waren die Ergebnisse uneinheitlich: Die Adipösen erreichten höhere Werte für die Kraft der Rückenmuskulatur ($p = 0.027$), aber tiefere Werte für die Kraft der Bein-Flexoren (beide $p < 0.004$) verglichen mit der Kontrollgruppe. Für die Kraft der Bein-Extensoren konnten keine Gruppenunterschiede festgestellt werden (beide $p > 0.5$).

Die absolute Kraft der Rückenmuskulatur sowie die Kraft der Bein-Extensoren waren nach der chirurgisch induzierten Gewichtsabnahme reduziert (alle $p < 0.02$), während die Kraft der Bein-Flexoren nach der Operation unverändert war (beide $p > 0.3$). Relativ betrachtet, bezogen auf das aktuelle Körpergewicht, war die Kraft der Bein-Flexoren nach Operation signifikant höher als vor der Operation (beide $p < 0.04$), hingegen liessen sich in der Kraft der Rückenmuskulatur sowie der Bein-Extensoren keine Unterschiede zwischen prä- und postoperativem Status feststellen (alle $p > 0.25$). Bezogen auf die fettfreie Masse blieben die gesamten Kraftwerte nach Operation unverändert im Vergleich zu den Werten vor der Operation (alle $p > 0.1$).

Vergleiche zwischen postoperativen und nicht-adipösen Probanden zeigten höhere absolute Kraftwerte für die Rückenmuskulatur der Operierten ($p = 0.016$), aber die absoluten Kräfte der Bein-Extensoren und Bein-Flexoren unterschieden sich nicht zwischen diesen beiden Gruppen (alle $p > 0.13$). Bezogen auf das Körpergewicht erzielten die Adipösen nach der Operation in allen Krafttests immer noch tiefere Werte als die nicht-adipöse Kontrollgruppe (alle $p < 0.02$). Bezogen auf die fettfreie Masse hingegen waren ihre relativen Kraftwerte zwar immer noch tiefer für die Bein-Flexion (beide $p < 0.03$), nicht aber für die Bein-Extension und die Rückenmuskulatur (alle $p > 0.27$).

Die adipösen Personen zeigten präoperativ einen niedrigeren Flexion/Extension-Quotienten als postoperativ, wobei der Unterschied nur links ($p = 0.024$) jedoch nicht rechts signifikant war ($p = 0.12$). Sowohl vor (beide $p < 0.001$) als auch nach (beide $p < 0.05$) der Operation waren die Werte tiefer im Vergleich mit der nicht-adipösen Gruppe.

Tabelle 17. Absolute und relative isometrische Maximalkraft der Adipösen prä- und postoperativ sowie der Nicht-adipösen

	Adipöse (n = 25)		p-Wert ¹	Nicht-adipöse (n = 32)		
	Präoperativ	Postoperativ		p-Wert ²	p-Wert ³	
Rückenmuskulatur						
Absolute Kraft (N)	389 ± 20.5	332 ± 20.5	0.006	272 ± 12.6	< 0.001	0.016
KG-bezogene Kraft (N/kg)	3.3 ± 0.2	3.5 ± 0.2	0.264	4.16 ± 0.12	< 0.001	0.012
FFM-bezogene Kraft (N/kg)	6.4 ± 0.3	6.0 ± 0.4	0.305	5.57 ± 0.16	0.027	0.287
Bein-Extension rechts						
Absolute Kraft (N)	294 ± 13.5	243 ± 14.9	0.003	221 ± 11.5	< 0.001	0.248
KG-bezogene Kraft (N/kg)	2.5 ± 0.1	2.6 ± 0.2	0.588	3.45 ± 0.19	< 0.001	0.001
FFM-bezogene Kraft (N/kg)	4.8 ± 0.2	4.4 ± 0.3	0.105	4.61 ± 0.25	0.507	0.573
Bein-Extension links						
Absolute Kraft (N)	296 ± 17.9	253 ± 15.6	0.017	224 ± 11.5	0.001	0.135
KG-bezogene Kraft (N/kg)	2.5 ± 0.1	2.6 ± 0.2	0.342	3.48 ± 0.17	< 0.001	0.001
FFM-bezogene Kraft (N/kg)	4.9 ± 0.3	4.6 ± 0.3	0.272	4.64 ± 0.22	0.514	0.794
Bein-Flexion rechts						
Absolute Kraft (N)	107 ± 8.8	100 ± 6.4	0.315	116 ± 7.5	0.474	0.131
KG-bezogene Kraft (N/kg)	0.9 ± 0.1	1.1 ± 0.1	0.038	1.78 ± 0.09	< 0.001	< 0.001
FFM-bezogene Kraft (N/kg)	1.8 ± 0.1	1.8 ± 0.2	0.771	2.36 ± 0.11	0.002	0.001

Bein-Flexion links						
Absolute Kraft (N)	110 ± 8.6	111 ± 7.4	0.945	114 ± 6.2	0.707	0.726
KG-bezogene Kraft (N/kg)	0.9 ± 0.1	1.2 ± 0.1	0.003	1.78 ± 0.09	< 0.001	< 0.001
FFM-bezogene Kraft (N/kg)	1.8 ± 0.2	2.0 ± 0.1	0.222	2.36 ± 0.10	0.003	0.029
Flexion/Extension-Quotient						
Rechtes Bein (%)	36.5 ± 2.4	42.4 ± 2.8	0.122	55.0 ± 3.7	< 0.001	0.012
Linkes Bein (%)	37.4 ± 1.6	44.8 ± 2.7	0.024	53.4 ± 3.1	< 0.001	0.044

Werte sind Mittelwert ± Standardfehler.

¹für den Vergleich zwischen prä- und postoperativem Status mittels gepaartem t-Test.

²für den Vergleich zwischen Nicht-adipösen und präoperativen Adipösen mittels ungepaartem t-Test.

³für den Vergleich zwischen Nicht-adipösen und postoperativen Adipösen mittels ungepaartem t-Test.

3.5.4 Zusammenfassung

Unsere Ergebnisse zeigen, dass eine rapide Gewichtsreduktion – induziert durch eine bariatrische Operation – bei ausgeprägt adipösen Personen zu einer Verbesserung der Schulterbeweglichkeit und der Gleichgewichtsfähigkeit sowie teilweise der Schnelligkeit führte. Die absolute Kraft hingegen nahm tendenziell ab, die relative Kraft blieb mit Ausnahme einer erhöhten Kraft der Bein-Flexoren bezogen auf das aktuelle Körpergewicht nach Operation unverändert, bezogen auf die fettfreie Masse blieb die relative Kraft unverändert. Es bleibt abzuwarten, wie sich die entsprechenden sportmotorischen Fähigkeiten im längeren postoperativen Verlauf und nach der zu erwartenden Gewichtsstabilisierung entwickeln. Verglichen mit der nicht-adipösen Kontrollgruppe zeigten sich interessanterweise postoperativ keine Unterschiede mehr in der gemessenen Zeit beim Balancier-Test sowie in der benötigten Zeit beim „timed lying to standing“ Test.

4. Diskussion

Die wichtigsten zur Diskussion stehenden Ergebnisse werden nachfolgend kurz aufgelistet:

1. Der Energieverbrauch kann mit dem SWA weder in Ruhe noch während körperlicher Aktivität mit einer ausreichenden Genauigkeit bestimmt werden. Die Messgenauigkeit des SWA bezüglich REE ist mit der Genauigkeit von REE-Prädiktionsformeln vergleichbar.
2. Bei Personen mit ausgeprägter Adipositas ist eine erhöhte kardiorespiratorische Fitness mit einem günstigeren kardiometabolischen Risikoprofil assoziiert.
3. Personen mit schwerer Adipositas zeigen Einschränkungen in der Schnelligkeit sowie teilweise in der Beweglichkeit und Gleichgewichtsfähigkeit. Tendenziell weisen sie, verglichen mit Nicht-adipösen, höhere absolute Kraftwerte auf, bezogen auf das Körpergewicht aber tiefere relative Kraftwerte. Bezogen auf die FFM zeigen sich nur wenige Unterschiede zwischen Adipösen und Nicht-adipösen. Die absolute Sauerstoffaufnahme ist zwischen den beiden Gruppen vergleichbar, die erreichte absolute Watt-Zahl bei den Adipösen geringer, ebenso die relative kardiopulmonale Fitness. Drei Monate nach bariatrischer Operation haben sich Verbesserungen in der Schulterbeweglichkeit und der Gleichgewichtsfähigkeit sowie teilweise der Schnelligkeit gezeigt. Die absolute Kraft hat tendenziell abgenommen, die relative Kraft ist unverändert geblieben.

4.1 Energieverbrauchsmessungen mittels SWA in Ruhe und Aktivität

Die Daten unserer Studie bestätigten vorausgehende Forschungsergebnisse, dass der REE von adipösen Personen mit weit verbreiteten Prädiktionsformeln nicht sehr genau vorhergesagt werden kann (22;24;129). Die wichtigste und neue Erkenntnis unserer Untersuchungen ist, dass das SWA den REE nicht genauer bestimmen kann als die getesteten Prädiktionsformeln (28;45;85). REE-SWA Werte, welche weniger als 10 % von den entsprechenden REE-IC Werten abwichen, erreichten nur 50.0 % der getesteten Frauen und 68.0 % der getesteten Männer. Somit wiesen zwischen 32.0 % und 50.0 % aller getesteten Personen REE-SWA Werte auf, welche den REE-IC um mindestens 10 % über- oder unterschätzten. Bedenkt man, dass der durchschnittliche REE ungefähr 1900 kcal/24h für unsere adipösen Frauen und 2600 kcal/24h für unsere adipösen Männer betrug, bedeutet eine Abweichung von 10 % umgerechnet eine Differenz von 190 kcal/24h respektive 260 kcal/24h. Dies ist eine Differenz, welche klinisch signifikant ist

(129). Zu beachten gilt zudem, dass in mehr als 16.0 % aller Frauen und mehr als 9.0 % der Männer der REE-SWA sogar 20 % oder mehr vom entsprechenden REE-IC abwich.

Leider wird die Formel, welche in der Software des SWA steckt, vom Hersteller geheim gehalten. Deshalb weiss man nicht, ob die verschiedenen vom SWA gemessenen physiologischen Parameter, namentlich Wärmefluss, Akzelerometrie, Galvanische Hautreaktion und Hauttemperatur alle in die Berechnung der REE Werte einbezogen werden. Es könnte sein, dass die REE Berechnung mittels SWA auf einer Formel basiert, welche nur Variablen wie Geschlecht, Alter, Grösse und Gewicht einschliesst genau wie die etablierten Formeln, namentlich WHO, Harris-Benedict und Mueller I, welche in dieser Studie getestet wurden. Basierend auf unseren Resultaten können wir aber ausschliessen, dass eine der getesteten Formeln in die Software des SWA zur Berechnung des REE integriert ist.

Unsere Ergebnisse gewinnen noch mehr an Bedeutung, wenn man bedenkt, dass der REE häufig als Basis der Berechnung des Gesamtenergieverbrauchs (TEE) mittels Multiplikation mit einem geschätzten körperlichen Aktivitätslevel (PAL) gebraucht wird. Eine vorangehende Studie (23) zeigte mittels Einsatz der „doppelt markiertes Wasser“-Methode einen durchschnittlichen PAL von 1.6 für extrem adipöse Personen. Wenn eine Abweichung von 10 % des REE multipliziert wird mit einem PAL von 1.6, weist eine durchschnittliche Frau aus unserer Studiengruppe einen geschätzten TEE zwischen 2740 bis 3340 kcal/24h (600 kcal/24h Differenz) auf und ein durchschnittlicher Mann hätte einen TEE im Bereich von 3760 bis 4560 kcal/24h (800 kcal/24h Differenz). Mit einer so ungenauen Bestimmung des TEE ist es nicht möglich, adäquate Diättempfehlungen zu machen.

Angesichts der schlechten Genauigkeit der REE-SWA Werte sowie der REE Werte berechnet mit den Prädiktionsformeln, muss man sich fragen, ob die REE Werte gemessen mit der IC, welche hier als Referenz verwendet wurden, genau und zuverlässig sind. Obwohl ein kleiner Teil der beobachteten Abweichungen wohl von methodischen Einschränkungen der IC kommen könnte, muss dabei gesagt werden, dass eine Studie von Bader et al. (2) von einer Tag-zu-Tag Variabilität der REE Werte gemessen mittels IC von weniger als 5 % berichtete und dass auch andere Studien (47;94) von einer guten Reproduzierbarkeit der IC-Methodik berichteten. Auch das indirekte Kalorimetrie-Gerät, welches wir in unserer Studie gebraucht haben, weist reliable und valide REE-Messungen bei adipösen Erwachsenen auf (6). Vor diesem Hintergrund glauben wir, dass die grosse Ungenauigkeit des SWA sowie der getesteten REE-Prädiktionsformeln eher eine Konsequenz ihrer inhärenten methodischen Limitation ist als eine Konsequenz der Ungenauigkeit der IC-Messungen.

Die Zuverlässigkeit unserer Resultate wird durch die Ergebnisse einer vorausgehenden Studie (88) unterstrichen, welche einen ähnlichen Grad an Ungenauigkeit des SWA beim Messen des REE von adipösen Personen beobachtete. Im Gegensatz dazu lieferte das SWA genauere REE Werte für normalgewichtige (38) als für leicht adipöse Personen (3;88). Aufgrund dessen lässt sich vermuten, dass die Entwicklung neuer Berechnungsformeln speziell für adipöse Personen helfen könnte, die Genauigkeit des Gerätes in der Messung des REE für diese Personengruppe zu verbessern.

Zusammengefasst zeigen unsere Daten, dass das SWA den REE nicht genauer bestimmen kann als etablierte Prädiktionsformeln, welche eine vergleichbar unbefriedigende Genauigkeit zeigen. Basierend auf unseren Resultaten schlussfolgern wir, dass das SWA keine Alternative zur IC darstellt, den REE bei adipösen Personen zuverlässig zu messen.

Das SWA zeigt auch keine gute Messgenauigkeit bei der Erhebung des Energieverbrauchs während körperlicher Aktivität in der adipösen Gruppe. Auch in der nicht-adipösen Gruppe misst das SWA den AEE nur sehr ungenau. Wie in der Studie von Papazoglou et al. (88) überschätzte das SWA den AEE auf den meisten Laufband-Stufen bei den adipösen Frauen. Es wird vermutet (88), dass Beschleunigungsmesser wie beispielsweise das SWA den AEE bei adipösen Personen aufgrund deren vermehrter Körperbewegungen (grössere Bewegungsreichweiten assoziiert mit verminderter mechanischer Effizienz) generell überschätzen. Interessanterweise unterschätzte das SWA den AEE aber auf der 6 km/h Stufe in den Gruppen der leicht und schwer adipösen Frauen. Im Gegensatz zu einer vorausgehenden Studie (38), in welcher das SWA den EE auf dem Laufband überschätzte, wird in der Gruppe der Nicht-adipösen die Überschätzung des SWA mit steigender Laufbandgeschwindigkeit kontinuierlich geringer, und auf der 4 km/h Stufe wird der Anteil der Frauen, für welche der AEE mit dem SWA unterschätzt wird, erstmals höher als der Anteil der Überschätzung. Dies unterstreicht die Ergebnisse von Jakicic et al. (60) in einer normalgewichtigen Gruppe, welche zu Beginn einer Laufband-Untersuchung eine Überschätzung (Minute 1-10) und dann eine Unterschätzung des AEE in den Minuten 11-30 beim Gebrauch des SWA zeigten. Auf Anfrage dieser Forscher (60) entwickelten die Hersteller bewegungsspezifische Algorithmen und wendeten diese auf die Auswertung dieser Daten an. Danach liess sich kein signifikanter Unterschied zwischen dem AEE erhoben mit dem SWA und dem AEE gemessen mit der IC mehr feststellen.

Auch wenn wir die aktuelle Software 6.1 für die Auswertung unserer Daten benutzten, welche bereits mit spezifischen aktivitäts-bezogenen Algorithmen arbeitet,

konnten wir keine ausreichende Messgenauigkeit des SWA feststellen. Es scheint daher notwendig zu sein, nicht nur differenziertere aktivitäts-spezifische, sondern auch neue BMI-spezifische Algorithmen in die Software des SWA einzubauen und zu validieren. Mit diesen Verbesserungen könnte das SWA ein wichtiges Gerät werden, um den Aktivitäts-Energieverbrauch auch während alltäglicher Aktivitäten zu messen.

Zusammenfassend bleibt anzumerken, dass das SWA den Energieverbrauch auch während körperlicher Aktivität in verschiedenen BMI-Gruppen nur sehr ungenau bestimmen kann und somit keine adäquate Alternative zur Messung mit der indirekten Kalorimetrie darstellt.

4.2 Kardiorespiratorische Fitness als Determinante kardiometabolischer Risikofaktoren

Unsere Daten zeigen, dass auch bei Personen mit ausgeprägter Adipositas eine erhöhte kardiorespiratorische Fitness mit einem günstigeren kardiometabolischen Risikoprofil assoziiert ist. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass eine erhöhte kardiorespiratorische Fitness adipöse Personen zumindest teilweise davor schützen kann, kardiometabolische Krankheiten zu entwickeln.

Die Beziehung der kardiorespiratorischen Fitness zu den Markern des Glukose-Stoffwechsels, namentlich Glukose, Insulin, HOMA Index und HbA1c war relativ konsistent. Diese Beobachtung passt auch gut zu vorausgehenden Studien, welche zeigten, dass eine bessere Fitness mit einer geringeren Häufigkeit für eine Erkrankung an Diabetes Typ 2 assoziiert ist (14;106). Ausserdem zeigte eine grosse Langzeitstudie (93), dass körperliche Aktivität die Entwicklung von Diabetes Typ 2 bei Frauen verhindert. Unsere Resultate unterstützen diese Erkenntnisse, indem sie zeigten, dass eine bessere kardiorespiratorische Fitness mit einer geringeren Beeinträchtigung des Glukose-Stoffwechsels bei schwer adipösen Personen assoziiert ist.

In einer der oben bereits erwähnten Studien (14) konnte nur eine moderate Beziehung zwischen geringer Fitness und Hypercholesterinämie festgestellt werden. In einer anderen Studie (75) hingegen wurde herausgefunden, dass Veränderungen der Fitness oder des Körperfettes unabhängig voneinander mit Veränderungen der Cholesterinwerte verbunden waren. Insbesondere die Resultate der Männer unterstützen vorausgehende Erkenntnisse, indem sie aufzeigten, dass eine bessere kardiorespiratorische Fitness mit einer geringeren Beeinträchtigung des Lipid-Stoffwechsels einhergeht.

Überraschenderweise war in unserer Studie bei den Frauen eine höhere kardiorespiratorische Fitness mit tieferen, und nicht wie erwartet mit höheren HDL Werten assoziiert. Studien haben gezeigt, dass durch Training der HDL Spiegel im Blutserum bei normalgewichtigen und leicht adipösen Personen erhöht werden kann (43;98). Eine andere Studie zeigte, dass Personen mit einem BMI von mehr als 28 kg/m² einen verminderten Anstieg des HDL Spiegels durch Training aufwiesen als Personen mit einem tieferen BMI (69). Angesichts dieser Beobachtungen kann spekuliert werden, dass die Auswirkung der kardiorespiratorischen Fitness auf den HDL Spiegel mit steigendem Grad der Adipositas abgeschwächt wird und eventuell, wie unsere Studie suggeriert, eine inverse Beziehung bei schwer adipösen Personen vorhanden sein könnte.

Insgesamt deutet unsere Studie darauf hin, dass eine bessere kardiorespiratorische Fitness adipöse Personen davor schützen kann, metabolische Beeinträchtigungen zu entwickeln. Es sollte jedoch bedacht werden, dass der Querschnittscharakter der Studie keine Schlussfolgerung auf die Ursache-Wirkungs-Beziehung zulässt. Im Prinzip könnte auch eine inverse Beziehung, in welcher metabolische Beeinträchtigungen wie beispielsweise ein hoher Glukose-Spiegel sich nachteilig auf die kardiorespiratorische Fitness auswirken, vorhanden sein. Auch die Relevanz der kardiorespiratorischen Fitness als Einflussfaktor auf die metabolische Gesundheit der schwer adipösen Personen bleibt in prospektiven Studien zu klären. In diesem Zusammenhang ist eine Studie (61) erwähnenswert, die zeigt, dass sich kardiometabolische Risikomarker während eines Gewichtsverlusts-Programms verbesserten, während sich durch das Hinzufügen eines körperlichen Trainings-Programms keine weiteren Verbesserungen erzielen liessen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass unsere Resultate zum ersten Mal zeigten, dass auch bei schwer adipösen Personen die kardiorespiratorische Fitness mit den kardiometabolischen Risikomarkern assoziiert ist. Weitere Studien werden aber benötigt, um die Ursache-Wirkungs-Beziehung zu klären.

4.3 Sportmotorische Fähigkeiten bei Adipositas und nach chirurgisch induziertem Gewichtsverlust

Unsere Bewegungsstudie repräsentiert die bislang umfassendste Erhebung der sportmotorischen Fähigkeiten schwer adipöser Personen im Vergleich zu einer nicht-adipösen Kontrollgruppe in der Literatur. Die Daten zeigen, dass die Adipösen in ihrer Beweglichkeit, Schnelligkeit und Gleichgewichtsfähigkeit beeinträchtigt sind. Die absolute Kraft der oberen Rückenmuskulatur sowie der Bein-Extensoren ist bei Adipösen grösser als bei Nicht-adipösen. Wenn man die Werte jedoch auf das Körpergewicht bezieht, ist die relative Kraft deutlich reduziert, in Bezug auf die fettfreie Masse sind die Kraftdifferenzen zwischen den beiden Gruppen hingegen nicht mehr vorhanden. Die absolute kardiopulmonale Fitness ist zwischen Adipösen und Nicht-adipösen vergleichbar, aber bezogen auf das Körpergewicht und die fettfreie Masse zeigen Adipöse jedoch eine eingeschränkte relative kardiopulmonale Fitness.

Eine verminderte Beweglichkeit wird zwar gewöhnlich mit dem Alter assoziiert (101), wir vermuteten aber auch bei unseren adipösen Probanden eine Einschränkung in deren Beweglichkeit. Vermutlich ist die reduzierte Schulterbeweglichkeit der Adipösen, wie wir sie in unserer Studie festgestellt haben, eher das Resultat erhöhter Körperumfänge, also eine mechanische Bewegungseinschränkung und kein Problem beeinträchtigter Gelenkfunktion. Ungeachtet davon, welche Mechanismen der eingeschränkten Schulterbeweglichkeit zugrunde liegen, schränkt eine verminderte Oberkörperbeweglichkeit adipöse Personen wahrscheinlich in den Aktivitäten des täglichen Lebens, wie beispielsweise dem Anziehen von Kleidung oder dem Herankommen an Gegenstände, stark ein.

Die Beweglichkeit der hinteren Oberschenkelmuskulatur („Hamstrings“) scheint bei Adipösen nicht eingeschränkt zu sein. Unsere Daten bestätigen die Resultate einer vorausgehenden Studie mit adipösen Kindern (67), welche aufgezeigt hatte, dass ein erhöhter BMI nicht mit einer Beeinträchtigung der Leistung im „stand and reach“ Test einherging.

Die adipösen Personen benötigten für beide Schnelligkeitstests mehr Zeit als die Nicht-adipösen. Bouchard et al. (9) berichteten ebenfalls, dass adipöse Personen eine schlechtere Leistung im „timed up and go“ Test erzielten als normalgewichtige Personen. Ebenso brauchen auch Patienten mit anderen Krankheiten wie beispielsweise Diabetes Typ 2, Nervenleiden oder nach einem Schlaganfall (29;113) mehr Zeit im „timed up and go“ sowie im „timed lying to standing“ Test.

In unserer Studie wurden beide Tests zur Schnelligkeit unter Laborbedingungen durchgeführt, die Ergebnisse könnten aber auch für die Gehgeschwindigkeit im Alltag relevant sein. Gemäss Hoxie et al. (55) können adipöse Personen aufgrund ihrer reduzierten Gehgeschwindigkeit auch an Mobilitätsproblemen leiden, welche beispielsweise im Strassenverkehr ihre Auswirkungen haben. Um die Strasse sicher überqueren zu können, wird in bereits erwähnter Studie (55) eine Geschwindigkeit von 0.81 m/s gefordert, wenn man beim Umschalten der Ampel gleich losläuft. Läuft man erst los bei der letzten Gehmöglichkeit vor einem erneuten Umschalten der Ampel, muss das Tempo 1.29 m/s betragen. Getestet mit dem TUG hatten unsere adipösen Probanden eine durchschnittliche Geschwindigkeit von 1.22 m/s, die Nicht-adipösen 1.47 m/s. Auch wenn man bedenkt, dass beim TUG noch vom Stuhl aufgestanden werden musste, stehen unsere adipösen Probanden offensichtlich beim Überqueren der Strasse bei der letzten Gehmöglichkeit unter einem grossen Zeitdruck.

Im Balancier-Test zeigten die Adipösen teilweise eine schlechtere Leistung im Vergleich zu den Nicht-adipösen. Gemäss Hue et al. (57) korreliert eine verminderte Gleichgewichtsfähigkeit stark mit einem erhöhten Körpergewicht, welche wiederum in Beziehung steht zu einem erhöhten Sturzrisiko (52). Somit könnte die eingeschränkte Balance bei Adipösen zu einer erhöhten Sturzgefahr führen.

Die kontroversen Resultate der Krafttests, einerseits bezogen auf das Körpergewicht und andererseits auf die fettfreie Masse, müssen genauer diskutiert werden. Während die verminderte relative Kraft bezogen auf das Körpergewicht die Aktivitäten des Alltags wahrscheinlich negativ beeinflusst, legt die unveränderte relative Kraft bezogen auf die fettfreie Masse den Schluss nahe, dass die Funktionalität der Muskulatur bei adipösen Personen nicht eingeschränkt ist.

Die Resultate bezüglich Kraft der Bein-Flexoren zeigten ein Muster, welches sich klar von den Resultaten zur Kraft der oberen Rückenmuskulatur und der Bein-Extensoren unterschied. Obwohl sich hier die absoluten Kraftwerte zwischen den beiden Gruppen nicht unterschieden, waren die relativen Kraftwerte bezogen auf das Körpergewicht sowie die fettfreie Masse bei den Adipösen tiefer als bei den Nicht-adipösen. Ebenso war der Flexion/Extension-Quotient signifikant niedriger bei den Adipösen. Das heisst, dass die Kräftedifferenz zwischen der Flexion und der Extension bei den Adipösen stärker ausgeprägt war. Die Diskrepanz zwischen Extensoren und Flexoren resultiert wohl daraus, dass die Extensoren allgemein besser trainiert sind als die Flexoren, weil sie im Alltag mehr beansprucht werden. Die erhöhten absoluten Extensionskräfte der Adipösen lassen sich vermutlich durch ihr erhöhtes Körpergewicht, welches sie tragen müssen und dadurch automatisch die Extensoren noch stärker beanspruchen, erklären. Es ist bekannt,

dass ein niedriger Flexion/Extension-Quotient das Risiko für Knieverletzungen erhöht (48;49;68). Deshalb wäre es sinnvoll, in Trainingsprogramme für adipöse Personen auch spezifische Übungen für die Bein-Flexoren zu integrieren, um Knieverletzungen entgegenzuwirken. Auch ist das Kniegelenk generell ein sehr problematisches Gelenk in dieser Bevölkerungsgruppe, weil Adipositas beispielsweise ein unabhängiger Einflussfaktor für Arthrose, im Besonderen im Kniegelenk, ist (89).

Die schwer adipösen Personen zeigten eine reduzierte kardiopulmonale Fitness, und zwar unabhängig davon, ob die jeweiligen Parameter auf das Körpergewicht oder die fettfreie Masse bezogen wurden. Dieses Ergebnis unterstreicht die Resultate einer vorausgehenden Studie (58), welche ebenfalls eine geringere kardiopulmonale Fitness respektive geringere Sauerstoffaufnahme bezogen auf das Körpergewicht bei Belastungsende aufzeigte. Die Mechanismen, welche einer schlechteren Fitness der adipösen Personen zugrunde liegen, bleiben zumindest teilweise ungeklärt. Man könnte spekulieren, dass eine reduzierte Mitochondrienmasse oder Störungen der Mitochondrienstruktur und -Funktion, wie sie für adipöse Personen gefunden wurden (53;66;73;109), in diesem Zusammenhang eine Rolle spielen. Dem widerspricht aber die Tatsache, dass auch bei ehemals schwer adipösen Personen, welche mit Hilfe bariatrischer Chirurgie extrem viel Gewicht verloren haben, immer noch eine reduzierte Sauerstoffaufnahme bei Belastungsende festgestellt werden konnte (127). In dieser Studie (127) betrug die Sauerstoffaufnahme bezogen auf das Körpergewicht bei Belastungsende im Durchschnitt 21.5 ± 1.7 ml/kg/min. Dieser Wert liegt deutlich tiefer als die Referenzwerte für die durchschnittliche Schweizer Bevölkerung (79).

Die Adipösen erreichten tiefere Werte für die objektiv messbaren Ausbelastungs-Indizes, das heisst für den RQ sowie den erreichten Prozentanteil der maximalen Herzfrequenz bei Belastungsende als die Nicht-adipösen. Hingegen war der Grad des subjektiven Belastungsempfindens bei Belastungsende, ermittelt mit der Borg-Skala, vergleichbar zwischen den beiden Gruppen. Dies verdeutlicht eine reduzierte Belastungstoleranz bei adipösen Personen. Interessanterweise berichtete eine Studie von Hulens et al. (58) sowohl von tieferen objektiv messbaren Ausbelastungs-Indizes (RQ, HF) als auch von einem tieferen Grad des subjektiven Belastungsempfindens bei Belastungsende der getesteten adipösen Frauen. Es könnte sein, dass wir unsere adipösen Probanden stärker motivierten und sie dadurch mehr tolerierten und sich daher der Unterschied im subjektiven Belastungsempfinden zu oben erwähnter Studie (58) ergibt.

In unserer Studie zeigten die Adipösen eine schlechtere Bewegungsökonomie auf dem Fahrrad als die Nicht-adipösen, erkennbar durch den tieferen Wirkungsgrad (GE).

Konkret war das Verhältnis zwischen der Leistung in Watt und dem aufgewendeten PI, berechnet aus VO_2 und RQ, bei Belastungsende 9.2 % tiefer bei den Adipösen als bei den Nicht-adipösen. Vorausgehende Studien bestätigten einen erhöhten Energieverbrauch der adipösen Personen verglichen mit den Normalgewichtigen für verschiedene Bewegungen (17;58;72). Wenn man speziell das Radfahren betrachtet, könnte eine reduzierte Bewegungsökonomie auf einen erhöhten Energieverbrauch durch die Bewegung der schwereren Beine und das Stabilisieren des schwereren Rumpfes zurückzuführen sein (58;72).

Aufgrund obiger Ausführungen lässt sich vermuten, dass adipöse Personen durch eine reduzierte kardiopulmonale Fitness, eine geringere Belastungstoleranz und eine schlechtere Bewegungsökonomie in der Ausübung von Aktivitäten des Alltags, zum Beispiel durch einen schneller eintretenden Erschöpfungszustand, stark beeinträchtigt werden.

Über die möglichen Ursachen der unterschiedlichen Ergebnisse der kardiopulmonalen Fitness bezogen auf die FFM einerseits (tiefer bei den Adipösen als bei den Nicht-adipösen) und der Kraft bezogen auf die FFM andererseits (nicht verschieden zwischen den beiden Gruppen) kann nur spekuliert werden. Krafttests dauern ungefähr 3 – 5 Sekunden, wobei anaerob laktazide Mechanismen die Energie bereitstellen. Im Gegensatz dazu steht in Fitness-Tests die aerob laktazide Energiebereitstellung an erster Stelle (126). Demzufolge kann man vermuten, dass Unterschiede in der Energiebereitstellung und, wie oben bereits erwähnt, in der Mitochondrienfunktion, sowie eine erhöhte Konzentration an intramyozellulären Lipiden in diesem Zusammenhang eine Rolle spielen könnten.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass unsere Daten deutliche Unterschiede in der motorischen Leistungsfähigkeit zwischen schwer adipösen und nicht-adipösen Personen aufzeigen. Weitere Studien sind nötig, um die direkten Konsequenzen dieser verminderten Leistungsfähigkeit auf den Alltag und die Lebensqualität adipöser Personen zu untersuchen sowie die zugrunde liegenden Mechanismen weiter zu erforschen. Zudem gibt es bislang in der Literatur keine standardisierte Testbatterie zur Erhebung der motorischen Fähigkeiten schwer adipöser Erwachsener. Dies wäre jedoch wichtig, um vergleichbare Studien unter Einhaltung der Gütekriterien durchführen zu können. Unsere Testbatterie zeigt eine Möglichkeit auf, wie man die motorischen Fähigkeiten adipöser Personen auch in Zukunft objektiv messen könnte.

Betrachtet man die motorischen Tests zur Beweglichkeit, Schnelligkeit, Gleichgewichtsfähigkeit und zur Kraft drei Monate nach bariatrischer Chirurgie, lassen

sich teilweise Verbesserungen feststellen. Unsere Ergebnisse zeigten eine Verbesserung der Schulterbeweglichkeit, der Gleichgewichtsfähigkeit und teilweise der Schnelligkeit. Die absolute Kraft hingegen nahm tendenziell ab, die relative Kraft blieb mit Ausnahme einer erhöhten Kraft der Bein-Flexoren bezogen auf das aktuelle Körpergewicht nach Operation unverändert, bezogen auf die fettfreie Masse blieb die relative Kraft unverändert.

Es gibt in der Literatur keine Studie, welche die Schulterbeweglichkeit vor und nach bariatrischer Chirurgie untersucht hat. Die signifikante Verbesserung der Schulterbeweglichkeit ergab sich vermutlich durch die verminderten Oberkörperumfänge. Weil die Umfänge drei Monate postoperativ immer noch grösser waren im Vergleich zu den Nicht-adipösen, blieb wahrscheinlich auch die Schulterbeweglichkeit verglichen mit der Kontrollgruppe immer noch eingeschränkt. Diese Zusammenhänge zwischen Schulterbeweglichkeit und Oberkörperumfänge, wie sie im postoperativen Verlauf ersichtlich sind, bestätigen auch unsere weiter oben angestellte Vermutung, dass eine reduzierte Schulterbeweglichkeit eine mechanische Bewegungseinschränkung darstellt und kein Problem beeinträchtigter Gelenkfunktion ist.

Man hätte vermuten können, dass sich durch die verminderten Oberkörperumfänge drei Monate nach der Operation eine Verbesserung im „stand and reach“ Test ergeben würde. Offensichtlich wird dieser Test aber nicht durch einen erhöhten Bauchumfang negativ beeinflusst, sondern ist abhängig von der Beweglichkeit der hinteren Oberschenkelmuskulatur. So gesehen erstaunt es nicht, dass sich die Adipösen in der Beweglichkeit der hinteren Oberschenkelmuskulatur nicht signifikant verbesserten, da sich schon im präoperativen Vergleich zu den Nicht-adipösen keine Unterschiede herausgestellt hatten.

Interessanterweise zeigten unsere Probanden bezüglich Schnelligkeit inkonsistente Ergebnisse. Im Gegensatz zu einer vorausgehenden Studie (115), welche die Schnelligkeit mit dem „6 Meter Geh-Test“ gemessen hat, zeigte unsere Studie keine Verbesserung im TUG. Natürlich könnte es sein, dass sich die Schnelligkeit im postoperativen Verlauf weiter verbessern wird, wie dies in einer anderen Studie (59) sechs und zwölf Monate nach bariatrischer Operation der Fall war. Es konnte hingegen bereits drei Monate postoperativ eine signifikante Verbesserung im „timed lying to standing“ Test festgestellt werden. Über die unterschiedlichen Resultate in den beiden Tests zur Schnelligkeit kann nur spekuliert werden. Die Bewegung des schnellstmöglichen Aufstehens vom Bett ist neben der Schnelligkeit stark beeinflusst von weiteren koordinativen und biomechanischen Aspekten, welche sich durch die geringeren Körperumfänge vermutlich auch verbessert haben. Ebenso spielt beim schnellen Aufstehen auch die Gleichgewichtsfähigkeit eine verstärkte Rolle, welche sich drei Monate nach bariatrischer Operation analog einer vorausgehenden Studie (82) in unserer

Studie ebenfalls verbessert hat. Der TUG ist weniger komplex in seiner Ausführung und erfordert weniger koordinative Fähigkeiten, so dass man vermuten könnte, dass er deshalb auch weniger durch diese Gewichtsabnahme beeinflusst wird. Es könnte jedoch sein, dass es eine noch deutlichere Gewichtsabnahme braucht, die dann Verbesserungen in diesem Test hervorrufen könnte.

Die beobachtete verbesserte Gleichgewichtsfähigkeit drei Monate nach der Operation ist insofern von grosser Bedeutung, als sich dadurch möglicherweise das Sturzrisiko verringert (52). Unsere Resultate bestätigen zudem die einer vorausgehenden Studie (57), welche eine inverse Korrelation zwischen Gleichgewichtsfähigkeit und Körpergewicht herausfand.

Unsere Studie zeigt, dass die Gewichtsreduktion eine erhebliche Abnahme der absoluten Kraft der Rückenmuskulatur sowie der Bein-Extensoren zur Folge hat. Dies wird wahrscheinlich durch eine verminderte Muskelmasse erklärt (102). Viele wissenschaftliche Arbeiten (16;105) zeigen, dass bei einer Gewichtsabnahme immer auch die fettfreie Masse abnimmt. Von Bedeutung ist in diesem Zusammenhang, dass körperliches Training während der Gewichtsabnahme die Muskelatrophie vermindern kann (16;105). Die Durchführung eines geleiteten Trainingsprogrammes in den ersten drei Monaten nach der bariatrischen Operation wäre wünschenswert und sollte gefördert werden.

Interessanterweise gab es keine Unterschiede zwischen den prä- und postoperativen Kraftwerten der Rückenmuskulatur, der Bein-Extensoren und der Bein-Flexoren, wenn man diese auf die aktuelle FFM bezieht. Daraus können wir schliessen, dass die Qualität und Funktionalität der Muskeln auch nach der bariatrischen Operation vermutlich nicht schlechter sind als davor. Die relativen Kraftwerte bezogen auf das Körpergewicht blieben mit Ausnahme der erhöhten Kraft der Bein-Flexoren unverändert drei Monate postoperativ, sodass eine Einschränkung in den Aktivitäten des Alltags dadurch vermutlich noch immer vorhanden ist.

Der Flexion/Extension-Quotient hatte sich für das linke Bein postoperativ erhöht. Dies ist insofern von Bedeutung, als dass ein niedriger Flexion/Extension-Quotient das Risiko für Knieverletzungen erhöht (48;49;68). Trotzdem blieb der Quotient auch drei Monate postoperativ niedriger als bei den Nicht-adipösen, was für ein immer noch erhöhtes Verletzungsrisiko spricht und dies sollte weiterhin durch spezifisches Training vermindert werden.

Eine interessante Beobachtung ist, dass wir in unserer Studie einen reduzierten Phasenwinkel trotz reduziertem BMI nach der Operation feststellten. Dies widerspricht

einer vorausgehenden Studie (8), in welcher der bioelektrische Phasenwinkel negativ korrelierte mit dem BMI. Der verminderte Phasenwinkel unserer adipösen Probanden lässt sich wahrscheinlich auf die reduzierte fettfreie Masse zurückführen. Ein Vibrationsplattentraining könnte möglicherweise der Reduktion des bioelektrischen Phasenwinkels entgegenwirken (128). Die Argumentation mit der fettfreien Masse würde demnach auch erklären, warum sich der Phasenwinkel präoperativ nicht von der nicht-adipösen Kontrollgruppe unterschied.

Abschliessend muss erwähnt werden, dass über mindestens ein Jahr nach bariatrischer Operation progredient abgenommen wird (65;92;125). Deshalb sollten die motorischen Fähigkeiten im Langzeitverlauf und nach der zu erwartenden Gewichtsstabilisierung erneut erhoben werden, da eine weitere Verbesserung im Verlauf des ersten postoperativen Jahres vermutet werden kann.

5. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse einer retrospektiven Datenanalyse sowie einer prospektiven Studie zur Energieverbrauchsmessung mittels des multi-sensor SenseWear Pro 3 Armband™ sowie zur sportmotorischen Leistungsfähigkeit bei Adipositas und nach bariatrischer Chirurgie beschrieben.

Die Ergebnisse zeigen, dass das SenseWear Pro 3 Armband™ den Energieverbrauch weder in Ruhe noch während körperlicher Aktivität mit ausreichender Genauigkeit messen kann. In Ruhe lag bei 32.0 % der getesteten Männer und bei 50.0 % der getesteten Frauen der mit dem SenseWear Pro 3 Armband™ gemessene Ruheenergieverbrauch ausserhalb des ± 10 % Bereichs verglichen mit den mittels indirekter Kalorimetrie gemessenen Werten. Während einer standardisierten Laufbandbelastung lagen bei allen Gehgeschwindigkeitsstufen mindestens 49.9 % der gemessenen Werte ausserhalb des akzeptablen Bereichs von ± 10 %.

Weiterhin zeigen die erhobenen Daten, dass bei Personen mit ausgeprägter Adipositas eine erhöhte kardiorespiratorische Fitness mit einem günstigeren kardiometabolischen Risikoprofil assoziiert ist. Interessanterweise scheint bei Männern dieser Zusammenhang stärker ausgeprägt als bei Frauen.

Die Auswertung der durchgeführten sportmotorischen Tests ergab, dass adipöse Personen im Vergleich zu Nicht-adipösen bezüglich Schnelligkeit, Beweglichkeit und Gleichgewichtsfähigkeit eingeschränkt sind. Die untersuchten adipösen Personen zeigten jedoch höhere Absolut-Kraftwerte im Bereich der oberen Rückenmuskulatur sowie der Bein-Extensoren. Bezogen auf das Körpergewicht (relative Kraft) waren die Kraftwerte der Adipösen niedriger als die der Nicht-adipösen, bezogen auf die fettfreie Masse waren die Kraftwerte mit Ausnahme der Flexoren zwischen den beiden Gruppen vergleichbar. Die mittels Spiroergometrie gemessene absolute O_2 -Aufnahme bei Belastungsende sowie an der anaeroben Schwelle war zwischen Adipösen und Nicht-adipösen vergleichbar, bezogen auf das Körpergewicht und die fettfreie Masse waren die relativen Werte bei den Adipösen jedoch signifikant tiefer.

Eine Nachuntersuchung eines Teils der adipösen Personen drei Monate nach erfolgter bariatrischer Operation zeigte Verbesserungen der Schulterbeweglichkeit, der Gleichgewichtsfähigkeit sowie der Schnelligkeit. Die absolute Kraft nahm hingegen ab, die relative Kraft war unverändert.

Zusammengenommen bieten die gewonnenen Ergebnisse neue Erkenntnis hinsichtlich Messmethodik bezüglich des Energieverbrauchs sowie der sportmotorischen Fähigkeiten bei Personen mit ausgeprägter Adipositas.

6. Literaturverzeichnis

1. Andre D, Pelletier R, Farrington J, Safier S, Talbott W, Stone R, Vyas N, Trimble J, Wolf D, Vishnubhatla S, Boehmke S, Stivoric J, Teller A. The development of the SenseWear armband, a revolutionary energy assessment device to assess physical activity and lifestyle. <http://sensewear.bodymedia.com/SenseWear-Studies/SW-Whitepapers> (Tag des Zugriffs: 20.02.2014).
2. Bader N, Bosy-Westphal A, Dilba B, Müller MJ. Intra- and interindividual variability of resting energy expenditure in healthy male subjects – biological and methodological variability of resting energy expenditure. *Brit J Nutr*;94:843-9 (2005).
3. 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*;27:307-10 (2008).
4. Blair SN, Brodney S. Effects of physical inactivity and obesity on morbidity and mortality: current evidence and research issues. *Med Sci Sports Exerc*;31:646-62 (1999).
5. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*;i:307-10 (1986).
6. Blond E, Maitrepierre C, Normand S, Sothier M, Roth H, Goudable J, Laville M. A new indirect calorimeter is accurate and reliable for measuring basal energy expenditure, thermic effect of food and substrate oxidation in obese and healthy subjects. *e-SPEN*;6:e7-e15 (2011).
7. Borg G. Borg's perceived exertion and pain scales. *Human Kinetics*;49 (1998).
8. Bosy-Westphal A, Danielzik S, Dörhöfer RP, Later W, Wiese S, Müller MJ. Phase angle from bioelectrical impedance analysis: population reference values by age, sex, and body mass index. *J Parenter Enteral Nutr*;30:309-16 (2006).
9. Bouchard DR, Dionne IJ, Brochu M. Sarcopenic/obesity and physical capacity in older men and women: data from the nutrition as a determinant of successful aging (NuAge) – the Quebec longitudinal study. *Obesity (Silver Spring)*;17:2082-8 (2009).
10. Buchwald H, Oien DM. Metabolic/bariatric surgery worldwide 2011. *Obes Surg*;23:427-36 (2013).

11. Buchwald H. Consensus Conference Panel. Consensus conference statement bariatric surgery for morbid obesity: health implications for patients, health professionals, and third-party payers. *Surg Obes Relat Dis*;1:371-81 (2005).
12. Camerini G, Adami G, Marinari GM, Gianetta E, Pretolesi F, Papadia F, Marini P, Murelli F, Carlini F, Stabilini C, Sormani MP, Scopinaro N. Thirteen years of follow-up in patients with adjustable silicone gastric banding for obesity: weight loss and constant rate of late specific complications. *Obes Surg*;14:1343-8 (2004).
13. Campbell KL, Crocker PR, McKenzie DC. Field evaluation of energy expenditure in women using Tritrac accelerometers. *Med Sci Sports Exerc*;34:1667-74 (2002).
14. Carnethon MR, Gidding SS, Nehgme R, Sidney S, Jacobs DR Jr, Liu K. Cardiorespiratory fitness in young adulthood and the development of cardiovascular disease risk factors. *JAMA*;290:3092-100 (2003).
15. Castetbon A, Andreyeva T. Obesity and motor skills among 4 to 6-year-old children in the United States: nationally-representative surveys. *BMC Pediatr*;15:12-28 (2012).
16. Chaston TB, Dixon JB, O'Brien PE. Changes in fat-free mass during significant weight loss: a systematic review. *Int J Obes*;31:743-50 (2007).
17. Chen KY, Acra SA, Donahue CL, Sun M, Buchowski MS. Efficiency of walking and stepping: relationship to body fatness. *Obes Res*;12:982-9 (2004).
18. Cole PJ, LeMura LM, Klinger TA, Strohecker K, McConnell TR. Measuring energy expenditure in cardiac patients using Body Media Armband versus indirect calorimetry. A validation study. *J Sports Med Phys Fitness*;44:262-71 (2004).
19. D'Hondt E, Deforche B, De Bourdeaudhuij I, Lenoir M. Relationship between motor skill and body mass index in 5- to 10-year old children. *Adapt Phys Activ Quart*;26:21-37 (2009).
20. D'Hondt E, Deforche B, Gentier I, De Bourdeaudhuij I, Vaeyens R, Philippaerts R, Lenoir M. A longitudinal analysis of gross motor coordination in overweight and obese children versus normal-weight peers. *Int J Obes (Lond)*;37:61-7 (2013).
21. D'Hondt E, Deforche B, Vaeyens R, Vandorpe B, Vandendriessche J, Pion J, Philippaerts R, de Bourdeaudhuij I, Lenoir M. Gross motor coordination in relation to weight status and age in 5- to 12-year-old boys and girls: a cross-sectional study. *Int J Pediatr Obes*;6:e556-64 (2011).

22. Daly JM, Heymsfield SB, Head CA, Harvey LP, Nixon DW, Katzef H, Grossman GD. Human energy requirements: overestimation by widely used prediction equation. *Am J Clin Nutr*;42:1170-4 (1985).
23. Das SK, Saltzman E, McCrory MA, Hsu LK, Shikora SA, Dolnikowski G, Kehayias JJ, Roberts SB. Energy expenditure is very high in extremely obese women. *J Nutr*;134:1412-6 (2004).
24. De Luis DA, Aller R, Izaola O, Romero E. Prediction equation of resting energy expenditure in an adult Spanish population of obese adult population. *Ann Nutr Metab*;50:193-6 (2006).
25. Duncan, GE. The "fit but fat" concept revisited: population-based estimates using NHANES. *Int J Behav Nutr Phys Act*;7:47 (2010).
26. El Ghoch M, Alberti M, Capelli C, Calugi S, Battistini NC, Pellegrini M, Subasic S, Lanza M, Dalle Grave R. Resting energy expenditure assessment in anorexia nervosa: comparison of indirect calorimetry, a multisensor monitor and the Müller equation. *Int J Food Sci Nutr*;63:796-801 (2012).
27. Ernst B. *Nutritive Veränderungen bei Adipositas und nach bariatrischer Chirurgie. Inauguraldissertation. Lübeck (2010).*
28. FAO/WHO/UNU. Energy and protein requirements. Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. WHO technical report service no.724. Geneva (1985).
29. Faria CD, Teixeira-Salmela LF, Silva EB, Nadeau S. Expanded timed up and go test with subjects with stroke: reliability and comparisons with matched healthy controls. *Arch Phys Med Rehabil*;93:1034-8 (2012).
30. Farrell SW, Braun LA, Barlow CE, Cheng YJ, Blair SN. The relation of body mass index, cardiorespiratory fitness, and all-cause mortality in women. *Obes Res*;10:417-23 (2002).
31. Ferraro KF, Booth TL. Age, body mass index, and functional illness. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*;54:339-48 (1999).
32. Flegal KM, Carroll MD, Kit BK, Ogden CL. Prevalence of Obesity and Trends in the Distribution of Body Mass Index Among US Adults, 1999-2010. *JAMA*;307:491-7 (2012).
33. Flegal KM, Graubard BI, Williamson DF, Gail MH. Cause-specific excess deaths associated with underweight, overweight, and obesity. *JAMA*;298:2028-37 (2007).

34. Fogelholm M, Stigman S, Huisman T, Metsamuuronen J. Physical fitness in adolescents with normal weight and overweight. *Scand J Med Sci Sports*;18:162-70 (2008).
35. Fogelholm, M. Physical activity, fitness and fatness: relations to mortality, morbidity and disease risk factors. A systematic review. *Obesity reviews*;11:202-21 (2010).
36. Franco JVA, Ruiz PA, Palermo M, Gagner M. A review of studies comparing three laparoscopic procedures in bariatric surgery: sleeve gastrectomy, roux-en-Y gastric bypass and adjustable gastric banding. *Obes Surg*;21:1458-68 (2011).
37. Fried M, Hainer V, Basdevant A, Buchwald H, Deitel M, Finer N, Greve JW, Horber F, Mathus-Vliegen E, Scopinaro N, Steffen R, Tsigos C, Weimer R, Widhalm K. Interdisciplinary European guidelines on surgery of severe obesity. *Int J Obes (Lond)*;31:569-77 (2007).
38. Fruin ML, Rankin JW. Validity of a multi-sensor armband in estimating rest and exercise energy expenditure. *Med Sci Sports Exerc*;36:1063-9 (2004).
39. Galanos AN, Pieper CF, Cornoni-Huntley JC, Bales CW, Fillenbaum GG. Nutrition and function: is there a relationship between body mass index and the functional capabilities of community-dwelling elderly? *J Am Geriatr Soc*;42:368-73 (1994).
40. Galli M, Crivellini M, Sibella F, Montesano A, Bertocco P, Parisio C. Sit-to-stand movement analysis in obese subjects. *Int J Obes Relat Metab Disord*;24:1488-92 (2000).
41. Garby L, Astrup A. The relationship between the respiratory quotient and the energy equivalent of oxygen during simultaneous glucose and lipid oxidation and lipogenesis. *Acta Physiol Scand*;129:443-4 (1987).
42. Granacher U, Muehlbauer T, Gruber M. A qualitative review of balance and strength performance in healthy older adults: Impact for testing and training. *J Aging Res* (2012).
43. Halverstadt A, Phares DA, Wilund KR, Goldberg AP, Hagberg JM. Endurance exercise training raises high-density lipoprotein cholesterol and lowers small low-density lipoprotein and very low-density lipoprotein independent of body fat phenotypes in older men and women. *Metabolism*;56:444-50 (2007).
44. Han TS, Tijhuis MA, Lean ME, Seidell JC. Quality of life in relation to overweight and body fat distribution. *Am J Public Health*;88:1814-20 (1998).

45. Harris J, Benedict F. A biometric study of basal metabolism in man. WHO technical report service no.724. Carnegie Institution; Washington DC (1919).
46. Haugen HA, Chan LN, Li F. Indirect calorimetry: a practical guide for clinicians. *Nutr Clin Pract*;22:377-88 (2007).
47. Haugen HA, Melanson EL, Tran ZV, Kearney JT, Hill JO. Variability of measured resting metabolic rate. *Am J Clin Nutr*;78:1141-4 (2003).
48. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt RS, Colosimo AJ, McLean SG, van den Bogert AJ, Paterno MV, Succop P. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sports Med*;33:492-501 (2005).
49. Hewett TE, Myer GD, Ford KR. Decrease in neuromuscular control about the knee with maturation in female athletes. *J Bone Joint Surg Am*;86-A:1601-8 (2004).
50. Hewett TE, Myer GD, Zazulak BT. Hamstrings to quadriceps peak torque ratios diverge between sexes with increasing isokinetic angular velocity. *J Sci Med Sport*;11:452-9 (2008).
51. Hill K, Dolmage TE, Woon L, Goldstein R, Brooks D. Measurement properties of the SenseWear armband in adults with chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax*;65:486-91 (2010).
52. Hita-Contreras F, Martinez-Amat A, Lomas-Vega R, Alvarez P, Mendoza N, Romero-Franco N, Aranega A. Relationship of body mass index and body fat distribution with postural balance and risk of falls in Spanish postmenopausal women. *Menopause*;20:202-8 (2013).
53. Holloway GP, Thrush AB, Heigenhauser GJ, Tandon NN, Dyck DJ, Bonen A, Spriet LL. Skeletal muscle mitochondrial FAT/CD36 content and palmitate oxidation are not decreased in obese women. *Am J Physiol Endocrinol Metab*;292:E1782-9 (2007).
54. Horie LM, Gonzalez MC, Torrinhas RS, Cecconello I, Waitzberg DL. New specific equation to estimate resting energy expenditure in severely obese patients. *Obesity*;19:1090-4 (2011).
55. Hoxie RE, Rubenstein LZ, Hoenig H, Gallagher BR. Are older pedestrians allowed enough time to cross intersections safely? *J Am Geriatr Soc*;42:241-4 (1994).

56. Hu FB, Willett WC, Li T, Stampfer MJ, Colditz GA, Manson JE. Adiposity as compared with physical activity in predicting mortality among women. *N Engl J Med*;351:2694-703 (2004).
57. Hue O, Simoneau M, Marcotte J, Berrigan F, Doré J, Marceau P, Marceau S, Tremblay A, Teasdale N. Body weight is a strong predictor of postural stability. *Gait Posture*;26:32-8 (2007).
58. Hulens M, Vansant G, Lysens R, Claessens AL, Muls E. Exercise capacity in lean versus obese women. *Scand J Med Sci Sports*;11:305-9 (2001).
59. Iossi MF, Konstantakos EK, Teel DD, Sherwood RJ, Laughlin RT, Coffey MJ, Duren DL. Musculoskeletal function following bariatric surgery. *Obesity (Silver Spring)*;21:1104-10 (2013).
60. Jakicic JM, Marcus M, Gallagher KI, Randall C, Thomas E, Goss FL, Robertson RJ. Evaluation of the SenseWear Pro Armband to assess energy expenditure during exercise. *Med Sci Sports Exerc*;36:897-904 (2004).
61. Janssen I, Fortier A, Hudson R, Ross R. Effects of an energy-restrictive diet with or without exercise on abdominal fat, intermuscular fat, and metabolic risk factors in obese women. *Diabetes Care*;25:431-8 (2002).
62. Johannsen DL, Calabro MA, Stewart J, Franke W, Rood JC, Welk GJ. Accuracy of armband monitors for measuring daily energy expenditure in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*;42:2130-40 (2010).
63. Johannsen DL, Welk GJ, Sharp RL, Flakoll PJ. Differences in daily energy expenditure in lean and obese women: the role of posture allocation. *Obesity*;16:34-9 (2008).
64. Josbeno DA, Jakicic JM, Hergenroeder A, Eid GM. Physical activity and physical function changes in obese individuals after gastric bypass surgery. *Surg Obes Relat Dis*;6:361-6 (2010).
65. Karamanakos SN, Vagenas K, Kalfarentzos F, Alexandrides TK. Weight loss, appetite suppression, and changes in fasting and postprandial ghrelin and peptide-yy levels after Roux-en-Y gastric bypass and sleeve gastrectomy: a prospective, double blind study. *Ann Surg*;247:401-7 (2008).
66. Kelley DE, He J, Menshikova EV, Ritov VB. Dysfunction of mitochondria in human skeletal muscle in type 2 diabetes. *Diabetes*;51:2944-50 (2002).

67. Klein M, Emrich E, Schwarz M, Papathanassiou V, Pitsch W, Kindermann W, Urhausen A. Sportmotorische Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen im Saarland – Ausgewählte Ergebnisse der IDEFIKS-Studie (Teil 2). *Dtsch Z Sportmed*;55:211-20 (2004).
68. Knapik JJ, Bauman CL, Jones BH, Harris JM, Vaughan L. Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *Am J Sports Med*;19:76-81 (1991).
69. Kodama S, Tanaka S, Saito K, Shu M, Sone Y, Onitake F, Suzuki E, Shimano H, Yamamoto S, Kondo K, Ohashi Y, Yamada N, Sone H. Effect of aerobic exercise training on serum levels of high-density lipoprotein cholesterol: a meta-analysis. *Arch Intern Med*;167:999-1008 (2007).
70. Köhler W, Schachtel G, Voleske P. *Biostatistik*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (2002).
71. Kriska AM, Saremi A, Hanson RL, Bennett PH, Kobes S, Williams DE, Knowler WC. Physical activity, obesity, and the incidence of type 2 diabetes in a high-risk population. *Am J Epidemiol*;158:669-75 (2003).
72. Lafortuna CL, Proietti M, Agosti F, Sartorio A. The energy cost of cycling in young obese women. *Eur J Appl Physiol*;97:16-25 (2006).
73. Larsen S, Stride N, Hey-Mogensen M, Hansen CN, Andersen JL, Madsbad S, Worm D, Helge JW, Dela F. Increased mitochondrial substrate sensitivity in skeletal muscle of patients with type 2 diabetes. *Diabetologia*;54:1427-36 (2011).
74. Lee CD, Blair SN, Jackson AS. Cardiorespiratory fitness, body composition, and all-cause and cardiovascular disease mortality in men. *Am J Clin Nutr*;69:373-80 (1999).
75. Lee DC, Sui X, Church TS, Lavie CJ, Jackson AS, Blair SN. Changes in fitness and fatness on the development of cardiovascular disease risk factors hypertension, metabolic syndrome, and hypercholesterolemia. *J Am Coll Cardiol*;59:665-72 (2012).
76. Levine JA, Lanningham-Foster LM, McCrady SK, Krizan AC, Olson LR, Kane PH, Jensen MD, Clark MM. Interindividual variation in posture allocation: possible role in human obesity. *Science*;307:584-6 (2005).
77. Li TY, Rana JS, Manson JE, Willett WC, Stampfer MJ, Colditz GA, Rexrode KM, Hu FB. Cardiovascular Disease in Women. Obesity as compared with physical activity

- in predicting risk of coronary heart disease in women. *Circulation*;113:499-506 (2006).
78. Lopes VP, Stodden DF, Bianchi MM, Maia JA, Rodrigues LP. Correlation between BMI and motor coordination in children. *J Sci Med Sport*;15:38-43 (2012).
 79. Marti B, Laukkanen R, Held T. Beurteilung der Ausdauer aufgrund der VO₂ max: Standard des BASPO. *Schweiz Z Sportmed Sporttraumat*;4:173-4 (1999).
 80. Matthews DR, Hosker JP, Rudenski AS, Naylor BA, Treacher DF, Turner RC. Homeostasis model assessment: insulin resistance and beta-cell function from fasting plasma glucose and insulin concentrations in man. *Diabetologia* 28;412-9 (1985).
 81. Mechanick JI, Kushner RF, Sugerman HJ, Gonzalez-Campoy JM, Collazo-Clavell ML, Spitz AF, Apovian CM, Livingston EH, Brolin R, Sarwer DB, Anderson WA, Dixon J, Guven S. American Association of Clinical Endocrinologists, The Obesity Society, and American Society for Metabolic & Bariatric Surgery medical guidelines for clinical practice for the perioperative nutritional, metabolic, and nonsurgical support of the bariatric surgery patient. *Obesity*;17:S1-70 (2009).
 82. Miller GD, Nicklas BJ, You T, Fernandez A. Physical function improvements after laparoscopic Roux-en-Y gastric bypass surgery. *Surg Obes Relat Dis*;5:530-7 (2009).
 83. Mohos E, Schmaldienst E, Prager M. Quality of life parameters, weight change and improvement of co-morbidities after laparoscopic roux Y gastric bypass and laparoscopic sleeve resection – comparative study. *Obes Surg*;21:288-94 (2011).
 84. Mokdad AH, Ford ES, Bowman BA, Nelson DE, Engelgau MM, Vinicor F, Marks JS. Diabetes trends in the U.S.: 1990-1998. *Diabetes Care*;23:1278-83 (2000).
 85. Mueller MJ, Bomya-Westphal A, Klaus S, Kreymann G, Lührmann PM, Neuhäuser-Berthold M, Noack R, Pirke KM, Platte P, Selberg O, Steiniger J. 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*;80:1379-90 (2004).
 86. Noordhof DA, de Koning JJ, van Erp T, van Keimpema B, de Ridder D, Otter R, Foster C. The between and within day variation in gross efficiency. *Eur J Appl Physiol*;109:1209-18 (2010).

87. Padwal RS, Majumdar SR. Drug treatments for obesity: orlistat, sibutramine, and rimonabant. *Lancet*;369:71-7 (2007).
88. Papazoglou D, Augello G, Tagliaferri M, Savia G, Marzullo P, Maltezos E, Liuzzi A. Evaluation of a multisensor armband in estimating energy expenditure in obese individuals. *Obesity*;14:2217-23 (2006).
89. Parratte S, Pesenti S, Argenson JN. Obesity in orthopedics and trauma surgery. *Orthop Traumatol Surg Res*;100:S91-7 (2014).
90. Plowman SA, Smith DL. *Exercise Physiology for Health, Fitness, and Performance*. Lippincott Williams & Wilkins;580 (2007).
91. Podsiadlo D, Richardson S. The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc*;39:142-8 (1991).
92. Prachand VN, DaVee RT, Alverdy JC. Duodenal switch provides superior weight loss in the super-obese (BMI \geq 50kg/m²) compared with gastric bypass. *Ann Surg*;244:611-19 (2006).
93. Rana JS, Li TY, Manson JE, Hu FB. Adiposity compared with physical inactivity and risk of type 2 diabetes in women. *Diabetes Care*;30:53-8 (2007).
94. Raurich Puigdevall JM, Ibanez Juve J. Energy expenditure at rest: indirect calorimetry vs the Fick principle. *Nutr Hosp*;13:303-8 (1998).
95. Ravussin E, Lillioja S, Abbott W. Variability of 24 hour energy-expenditure, resting metabolic-rate, and sleeping metabolic-rate in man. *Clin Res*;34:A73 (1986).
96. Rössner S. Obesity: the disease of the twenty-first century. *Int J Obes Relat Metab Disord Suppl*;26/4:S2-4 (2002).
97. Shkuratova N, Morris ME, Huxham F. Effects of age on balance control during walking. *Arch Phys Med Rehabil*;85:582-8 (2004).
98. Slentz CA, Houmard JA, Johnson JL, Bateman LA, Tanner CJ, McCartney JS, Duscha BD, Kraus WE. Inactivity, exercise training and detraining, and plasma lipoproteins. STRRIDE: a randomized, controlled study of exercise intensity and amount. *J Appl Physiol*;103:432-42 (2007).
99. Snyder B, Wilson T, Mehta S, Bajwa K, Robinson E, Worley T, Aluka K, Wolin-Riklin C, Wilson E. Past, present, and future: Critical analysis of use of gastric bands in obese patients. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy* 3;55-65 (2010).

100. Spyropoulos P, Pisciotta JC, Pavlon KN, Cairns MA, Simon SR. Biomechanical gait analysis in obese men. *Arch Phys Med Rehabil*;72:1065-70 (1991).
101. Stathokostas L, McDonald MW, Little RM, Paterson DH. Flexibility of older adults aged 55-86 years and the influence of physical activity. *J Aging Res* (2013).
102. Stegen S, Derave W, Calders P, Van Laethem C, Pattyn P. Physical fitness in morbidly obese patients: effect of gastric bypass surgery and exercise training. *Obes Surg*;21:61-70 (2011).
103. Stevens J, Cai J, Evenson KR, Thomas R. Fitness and fatness as predictors of mortality from all causes and from cardiovascular disease in men and women in the lipid research clinics study. *Am J Epidemiol*;156:832-41 (2002).
104. Stevens J, Evenson KR, Thomas O, Cai J, Thomas R. Associations of fitness and fatness with mortality in Russian and American men in the lipid research clinics study. *Int J Obes Relat Metab Disord*;28:1463-70 (2004).
105. Stiegler P, Cunliffe A. The role of diet and exercise for the maintenance of fat-free mass and resting metabolic rate during weight loss. *Sports Med*;36:239-62 (2006).
106. Sui X, Hooker SP, Lee IM, Church TS, Colabianchi N, Lee CD, Blair SN. A prospective study of cardiorespiratory fitness and risk of type 2 diabetes in women. *Diabetes Care*;31:550-5 (2008).
107. Suter M, Calmes JM, Paroz A, Giusti V. A 10-year experience with laparoscopic gastric banding for morbid obesity: high long-term complication and failure rates. *Obes Surg*;16:829-35 (2006).
108. Svetkey LP, Stevens VJ, Brantley PJ, Appel LJ, Hollis JF, Loria CM, Vollmer WM, Gullion CM, Funk K, Smith P, Samuel-Hodge C, Myers V, Lien LF, Laferriere D, Kennedy B, Jerome GJ, Heinith F, Harsha DW, Evans P, Erlinger TP, Dalcin AT, Coughlin J, Charleston J, Champagne CM, Bauck A, Ard JD, Aicher K. Comparison of strategies for sustaining weight loss: the weight loss maintenance randomized controlled trial. *JAMA*;299:1139-48 (2008).
109. Toledo FG, Goodpaster BH. The role of weight loss and exercise in correcting skeletal muscle mitochondrial abnormalities in obesity, diabetes and aging. *Mol Cell Endocrinol*;379:30-4 (2013).
110. Turk MW, Yang K, Hravnak M, Sereika SM, Ewing LJ, Burke LE. Randomized clinical trials of weight loss maintenance: a review. *J Cardiovasc Nurs*;24:58-80 (2009).

111. Vargas CB, Picolli F, Dani C, Padoin AV, Mottin CC. Functioning of obese individuals in pre- and postoperative periods of bariatric surgery. *Obes Surg*;23:1590-5 (2013).
112. Vatten LJ, Nilsen TI, Romundstad PR, Droyvold WB, Holmen J. Adiposity and physical activity as predictors of cardiovascular mortality. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*;13:909-15 (2006).
113. Vaz MM, Costa GC, Reis JG, Junior WM, Albuquerque de Paula FJ, Abreu DC. Postural control and functional strength in patients with type 2 diabetes mellitus with and without peripheral neuropathy. *Arch Phys Med Rehabil*;94:2465-70 (2013).
114. Villareal DT, Chode S, Parimi N, Sinacore DR, Hilton T, Armamento-Villareal R, Napoli N, Qualls C, Shah K. Weight Loss, exercise, or both and physical function in obese older adults. *N Engl J Med*;364:1218-29 (2011).
115. Vincent HK, Ben-David K, Conrad BP, Lamb KM, Seay AN, Vincent KR. Rapid changes in gait, musculoskeletal pain, and quality of life after bariatric surgery. *Surg Obes Relat Dis*;8:346-54 (2012).
116. Waldburger R, Wilms B, Ernst B, Thurnheer M, Schultes B. Cardio-respiratory fitness is independently associated with cardio-metabolic risk markers in severely obese women. *Exp Clin Endocrinol Diabetes*;122:190-4 (2014).
117. Waldburger R, Zazai R, Wilms B, Ernst B, Thurnheer M, Schultes B. Resting energy expenditure values assessed by a multi-sensor armband show a low accuracy in obese subjects. *e-SPEN*;8:e246-50 (2013).
118. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Stringer WW, Whipp BJ. Normal values. In: Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Stringer WW, Whipp BJ, editors. *Principles of exercise testing and interpretation*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins;160-82 (2005).
119. Weening-Dijksterhuis E, Kamsma YP, Van Heuvelen MJ. Psychometric properties of the PAT: an assessment tool for ADL performance of older people living in residential homes. *Gerontology*;57:405-13 (2011).
120. Wei M, Kampert JB, Barlow CE, Nichaman MZ, Gibbons LW, Paffenbarger RS, Blair SN. Relationship between low cardiorespiratory fitness and mortality in normal-weight, overweight, and obese men. *JAMA*;282:1547-53 (1999).
121. Weil E, Wachterman M, McCarthy EP et al. Obesity among adults with disabling conditions. *JAMA*;288:1265-8 (2002).

122. Weinstein AR, Sesso HD, Lee M, Cook NR, Manson JE, Buring JE, Gaziano JM. Relationship of physical activity vs. body mass index with type 2 diabetes in women. *JAMA*;292:1188-94 (2004).
123. Weir JBV. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol*;109:1-9 (1949).
124. Wessel TR, Arant CB, Olson MB, Johnson BD, Reis SE, Sharaf BL, Shaw LJ, Handberg E, Sopko G, Kelsey SF, Pepine CJ, Merz NB. Relationship of physical fitness vs. body mass index with coronary artery disease and cardiovascular events in women. *JAMA*;292:1179-87 (2004).
125. White S, Brooks E, Jurikova L, Stubbs RS. Long-term outcomes after gastric bypass. *Obes Surg*;15:155-63 (2005).
126. Wilmore JH, Costill DL, Kenney WL. *Physiology of sport and exercise* (5th ed.), Human Kinetics, Champaign IL (2012).
127. Wilms B, Ernst B, Thurnheer M, Weisser B, Schultes B. Differential changes in exercise performance after massive weight loss induced by bariatric surgery. *Obes Surg*;23:365-71 (2013).
128. Wilms B, Frick J, Ernst B, Mueller R, Wirth B, Schultes B. Whole body vibration added to endurance training in obese women – A pilot study. *Int J Sports Med*;33:740-3 (2012).
129. Wilms B, Schmid SM, Ernst B, Thurnheer M, Mueller MJ, Schultes B. Poor prediction of resting energy expenditure in obese women by established equations. *Metabolism*;59:1181-9 (2010).

7. Anhang

Anhang 1

Resting energy expenditure values assessed by a multi-sensor armband show a low accuracy in obese subjects. e-SPEN 2013; 8: e246-e250

Anhang 2

Cardio-respiratory fitness is independently associated with cardio-metabolic risk markers in severely obese women. *Exp Clin Endocrinol Diabetes* 2014; 122: 190-194

8. Danksagung

Mein herzlicher Dank geht an meinen Doktorvater Professor Dr. Bernd Schultes, der mir dieses interessante Themengebiet überlassen und meine Dissertation betreut hat. Ohne sein mir entgegengebrachtes Vertrauen und seine fachliche Unterstützung wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Ebenfalls danke ich Frau Dr. Britta Wilms für die Erstellung des Konzeptes zur Bewegungsstudie und Frau Dr. Barbara Ernst für ihre Unterstützung bei statistischen Fragen und ihre stetige Hilfsbereitschaft.

Ein besonderer Dank geht an meine Doktorandenkollegin Runa Zazai. Gemeinsam haben wir die Bewegungsstudie praktisch durchgeführt und uns auch in schwierigen Zeiten gegenseitig ermutigt und motiviert.

Zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie, besonders bei meinen Eltern und meinem Partner bedanken, die mich auf meinem Weg immer unterstützt und an mich geglaubt haben.

9. Lebenslauf



PERSÖNLICHE ANGABEN

Name	Waldburger
Vorname	Rahel
Geburtsdatum	07.10.1982
Nationalität	Schweizerin

AUSBILDUNG

04/2011 – 04/2014	<p>Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Adipositas-Zentrum des Kantonsspitals St. Gallen (Doktorat mit dem Ziel Dr. rer. hum. biol.) <i>Dissertationsschrift: Energieverbrauchsmessung und sportmotorische Leistungsfähigkeit bei Adipositas und nach bariatrischer Chirurgie</i></p>
05/2007 – 11/2010	<p>Pädagogische Hochschule Bern Lehrerdiplom für Maturitätsschulen in den Fächern Sport und Deutsch</p>
10/2003 – 10/2010	<p>Universität Bern Hauptfach Sport und Sportwissenschaft 1. Nebenfach Deutsche Sprachwissenschaft 2. Nebenfach Medienwissenschaft <i>Lizentiatsarbeit: Gesundheitsvorstellungen und Rolle der Kindergartenlehrperson in der Vermittlung von gesundheitsförderlichem Verhalten sowie deren Bedingungen in der Umsetzung</i></p> <p>Abschluss: Licentiata Sport und Sportwissenschaft</p>
08/1998 – 07/2002	<p>Kantonsschule Aarau, Matura Typus E (Wirtschaft)</p>