



Gesundheitsförderung Schweiz

Arbeitspapier 8

Gültigkeit und Relevanz des Body-Mass-Index (BMI) als Massgrösse für Übergewicht und Gesundheitszustand auf individueller und epidemiologischer Ebene

Gesundheitsförderung Schweiz ist eine Stiftung, die von Kantonen und Versicherern getragen wird. Mit gesetzlichem Auftrag initiiert, koordiniert und evaluiert sie Massnahmen zur Förderung der Gesundheit (Krankenversicherungsgesetz, Art. 19). Die Stiftung unterliegt der Kontrolle des Bundes. Oberstes Entscheidungsorgan ist der Stiftungsrat. Die Geschäftsstelle besteht aus Büros in Bern und Lausanne. Jede Person in der Schweiz leistet einen jährlichen Beitrag von CHF 2.40 zugunsten von Gesundheitsförderung Schweiz, der von den Krankenversicherern eingezogen wird.
Weitere Informationen: www.gesundheitsfoerderung.ch

In der Reihe «**Gesundheitsförderung Schweiz Arbeitspapier**» erscheinen von Gesundheitsförderung Schweiz erstellte oder in Auftrag gegebene Grundlagen, welche Fachleuten in der Umsetzung in Gesundheitsförderung und Prävention dienen. Der Inhalt der Arbeitspapiere unterliegt der redaktionellen Verantwortung der Autorinnen und Autoren. Gesundheitsförderung Schweiz Arbeitspapiere liegen in der Regel in elektronischer Form (PDF) vor.

Impressum

Herausgeber

Gesundheitsförderung Schweiz

Autor

Davide Malatesta (Ph.D., MER)

Projektleitung Gesundheitsförderung Schweiz

Jvo Schneider, Co-Leiter Gesundes Körpergewicht, Gesamtmanagement
Nicolas Sperisen, Projektleiter Wirkungsmanagement

Reihe und Nummer

Gesundheitsförderung Schweiz, Arbeitspapier 8

Zitierweise

Malatesta D. (2013). *Gültigkeit und Relevanz des Body-Mass-Index (BMI) als Massgrösse für Übergewicht und Gesundheitszustand auf individueller und epidemiologischer Ebene*. Institut des Sciences du Sport de l'Université de Lausanne, Faculté de biologie et de médecine – Département de physiologie. (Gesundheitsförderung Schweiz Arbeitspapier 8). Bern: Gesundheitsförderung Schweiz.

Fotonachweis Titelbild

iStockphoto

Auskünfte/Informationen

Gesundheitsförderung Schweiz
Dufourstrasse 30, Postfach 311, CH-3000 Bern 6
Tel. +41 31 350 04 04, Fax +41 31 368 17 00
office.bern@promotionsante.ch
www.gesundheitsfoerderung.ch > gesundes Körpergewicht/Grundlagen

Originaltext

Französisch

Bestellungen

office.bern@promotionsante.ch

Bestellnummer

02.0019.DE 08.13

Dieses Arbeitspapier ist auch in französischer Sprache verfügbar (Bestellnummer 02.0019.FR 08.13).

Download PDF

www.gesundheitsfoerderung.ch > gesundes Körpergewicht/Grundlagen

ISSN: 2296-5661

© Gesundheitsförderung Schweiz, August 2013

Inhaltsverzeichnis

Editorial	5
1 Zusammenfassung	6
2 Veränderung der Zusammensetzung der Körpermasse und Zusammenhang mit der Entwicklung von adipositasbedingten Sekundärerkrankungen	7
3 Methoden zur Messung der Körperzusammensetzung	8
3.1 Direkte Methoden	8
3.1.1 Neutronenaktivierung	8
3.1.2 Isotopenverdünnung (Körperwassermessung)	8
3.1.3 Kalium-40-Messung	8
3.1.4 Densitometrie	9
3.1.5 Doppelröntgenabsorptiometrie (Dual Energy X-Ray Absorptiometry, DXA- oder DEXA-Messung)	9
3.1.6 Computertomographie (Computed Tomography)	9
3.1.7 Magnetresonanztomographie (MRT)	9
3.2 Indirekte Methoden	10
3.2.1 Anthropometrische Messungen	10
3.2.1.1 Körpermasse	10
3.2.1.2 Körpergrösse	10
3.2.1.3 Taillenumfang	10
3.2.1.4 Waist-hip ratio (Verhältnis von Taillenumfang zu Hüftumfang)	12
3.2.1.5 Body-Mass-Index (BMI)	12
3.2.1.6 Body-Adiposity-Index (BAI)	12
3.2.1.7 Hautfaltenmessung	13
3.2.2 Impedanzanalyse	13
4 Body-Mass-Index (BMI)	15
4.1 Historischer Hintergrund	15
4.2 Der Body-Mass-Index (BMI) beim Erwachsenen	16
4.2.1 Relation zwischen Body-Mass-Index und Körperzusammensetzung	17
4.2.2 Zusammenhang zwischen Body-Mass-Index und Komorbiditäts- und Mortalitätsrisiko	18
4.2.3 Einschränkungen des Body-Mass-Index	19
4.3 Der Body-Mass-Index beim Kind	20
4.4 Der Body-Mass-Index und die Empfehlungen in der Schweiz	22
5 Zusammenfassung der Interviews	23
6 Schlussfolgerungen	25
7 Literatur	26

Anhänge

Anhang I: Body-Mass-Index (BMI) nach Alter (Jungen 5–19 Jahre)	32
Anhang II: Body-Mass-Index (BMI) nach Alter (Mädchen 5–19 Jahre)	33
Anhang III: Fragen für die Interviews auf Französisch	34
Anhang IV: Fragen für die Interviews auf Englisch	35

Editorial

Gesundes Körpergewicht – unser langfristiger Schwerpunkt

Im Jahr 2007 waren in der Schweiz 30,4% der Erwachsenen ab 18 Jahren übergewichtig und zusätzlich 8,2% der Bevölkerung fettleibig. Die neusten Erhebungen zeigen, dass der durchschnittliche Prozentsatz von Übergewicht und Fettleibigkeit bei Schülerinnen und Schülern in der Schweiz bei 17,5% liegt. Weltweit haben Übergewicht und Fettleibigkeit seit Jahren das Ausmass einer Epidemie angenommen und dies fordert ein konsequentes Engagement. Denn das Risiko für verschiedene Krankheiten steigt mit zunehmendem Body-Mass-Index (BMI). Daher ist es wichtig, dass Übergewicht oder Fettleibigkeit gar nicht erst entstehen. Der Bereich «Gesundes Körpergewicht» ist daher ein Schwerpunkt der langfristigen Strategie 2007–2018 von Gesundheitsförderung Schweiz. Zusammen mit unseren kantonalen Partnern investieren wir einen Grossteil unserer Mittel in den Bereich gesundes Körpergewicht bei Kindern und Jugendlichen. Langfristiges Ziel ist es, den Anteil der Bevölkerung mit einem gesunden Körpergewicht zu erhöhen. Mit einer sowohl die Verhältnisse als auch das Verhalten einschliessenden Strategie will Gesundheitsförderung Schweiz zu einer Trendumkehr in die gesunde Richtung beitragen.

Wir überprüfen die Wirkung unserer Arbeit

Gesundheitsförderung Schweiz ist gemäss Art. 19 Krankenversicherungsgesetz (KVG) dazu verpflichtet, Massnahmen zur Förderung der Gesundheit und zur Verhütung von Krankheiten nicht nur anzuregen und zu koordinieren, sondern auch zu evaluieren. Aus diesem Grund haben wir ein umfassendes Wirkungsmanagement aufgebaut, das klassische Evaluationen und Monitorings beinhaltet. Es überprüft die Wirkung der Aktivitäten von Gesundheitsförderung Schweiz und dient der Steuerung unserer Strategie.

Gesundheitsförderung Schweiz setzt seit 2007 zusammen mit 20 Kantonen die Kantonalen Aktionsprogramme für ein gesundes Körpergewicht (KAP) um. Um angestrebte Veränderungen festzustellen oder gar erwünschte Wirkungen von Interventionen

nachzuweisen, sind regelmässige Messungen und Evaluationen unabdingbar. Aus diesem Grund führt Gesundheitsförderung Schweiz in Zusammenarbeit mit kantonalen Partnern in regelmässigen Abständen BMI-Monitorings von Schülern durch.

Der Body-Mass-Index – ein Index mit Qualität?

Ist der BMI, wie er seit den 1980er-Jahren systematisch angewandt wird, heute noch ein geeigneter Indikator? Oder sollte er längst durch neuere Messmethoden ersetzt werden, um wissenschaftlich fundierte Aussagen zu generieren? Der BMI mit seinen Klassifizierungsstufen als Indikator für Übergewicht und Fettleibigkeit steht immer wieder in der Kritik. Bei der Frage nach der geeigneten Messmethode spielen Faktoren wie Durchführbarkeit, Nutzen und Kosten eine wichtige Rolle. Des Weiteren müssen das Ziel einer Messung sowie die Grösse der Population neben zusätzlichen Aspekten berücksichtigt werden, um eine geeignete Methode zu definieren. Da Gesundheitsförderung Schweiz und ihre Partner nach wie vor mit dem BMI arbeiten, thematisiert der vorliegende Bericht unterschiedliche Messmethoden und zeigt ihre Vor- und Nachteile in deren Anwendung auf. Es wird konsequenterweise zwischen der Anwendung auf der Ebene von Populationen und auf individueller Ebene unterschieden. Nicht nur die Literatur kann hierbei wertvolle Hinweise liefern, sondern auch Gespräche mit Experten, die im Bericht ihre persönliche Meinung äussern.

Hiermit danken wir unseren Partnern für die ausgezeichnete Zusammenarbeit im Rahmen dieses Projekts.

Bettina Schulte-Abel
Vizedirektorin/Leiterin Programme

Jvo Schneider
Co-Leitung Gesundes Körpergewicht

1 Zusammenfassung

Die Veränderungen in der Zusammensetzung der Körpermasse, die mit dem Frühstadium sowie dem Fortschreiten von Adipositas einhergehen, erhöhen das Risiko für chronische Krankheiten wie Bluthochdruck, Typ-2-Diabetes und bestimmte Krebsarten – und damit das Mortalitätsrisiko – signifikant. Die Messung der Körperzusammensetzung und der Körperfettverteilung ist daher bei Kindern wie bei Erwachsenen für die Prävention und Behandlung von Übergewicht und Adipositas sowie damit einhergehenden Erkrankungen von zentraler Bedeutung. Für die Messung der Körperzusammensetzung gibt es direkte und indirekte Methoden. Erstere sind präziser als Letztere und gelten als Referenzmethoden. Allerdings sind sie kostspieliger und im Rahmen gross angelegter epidemiologischer Studien schwieriger anzuwenden als die indirekten Methoden. Unter den indirekten Methoden ist der Body-Mass-Index (BMI) trotz seiner Einschränkungen mit Sicherheit die meistverwendete. Dies erklärt sich dadurch, dass er – dank der von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) erstellten Klassifikation – eine Einstufung der Einzelpersonen nach Körperprofil und einen langfristigen Vergleich der Daten auf internationaler Ebene ermöglicht.

Nach einer kurzen Vorstellung der direkten und indirekten Methoden zur Messung der Zusammensetzung der Körpermasse werden Gültigkeit und Relevanz des BMI als Messgrösse für Übergewicht und Gesundheitszustand auf individueller und epidemiologischer Ebene näher beleuchtet. Grundlage dafür sind Daten aus der internationalen wissenschaftlichen Literatur sowie Interviews mit Schweizer Ärzten/Forschern, die auf diesen Bereich spezialisiert sind. Ferner wird auf die Einschränkungen und die in der Schweiz geltenden Empfehlungen bezüglich der Verwendung des BMI zur Definierung des Körperprofils von Erwachsenen und Kindern eingegangen.

2 Veränderung der Zusammensetzung der Körpermasse und Zusammenhang mit der Entwicklung von adipositasbedingten Sekundärerkrankungen

Adipositas wird definiert als eine exzessive oder anormale Ansammlung von Fettgewebe, die sich negativ auf den Gesundheitszustand auswirken kann. Seit den 1990er-Jahren steigt die Prävalenz von Adipositas laufend. Erst in den letzten Jahren stabilisierte sie sich in bestimmten Ländern tendenziell. Diese Zunahme der Prävalenz von Adipositas ist als ein wesentliches Problem im Gesundheitswesen anerkannt [106]. In der Tat ist Adipositas mit einem erhöhten Risiko für chronische Krankheiten wie Bluthochdruck, Typ-2-Diabetes und bestimmte Krebsarten – und damit einem erhöhten Mortalitätsrisiko – verbunden. Die Veränderungen in der Zusammensetzung der Körpermasse, die mit dem Frühstadium sowie dem Fortschreiten von Adipositas einhergehen, wirken sich in hohem Masse auf den Stoffwechsel und die Insulinsensibilität aus. Das Fettgewebe ist demnach ein entscheidender Faktor für die Regulierung der Fettausscheidung des Organismus sowie für die Regulierung der Glukose- und Fett-Homöostase [46]. Der Messung der Körperzusammensetzung und der Körperfettverteilung kommt somit für die Prävention und Behandlung von Übergewicht, Adipositas und damit einhergehenden Erkrankungen sehr hohe Bedeutung zu.

Die Zusammensetzung der Körpermasse kann je nach Art der klinischen Untersuchung auf verschiedenen Ebenen gemessen werden [28, 31]:

1. **Auf atomarer Ebene**, dank Spurenelementen wie Kohlenstoff, Kalzium und Wasserstoff.
2. **Auf molekularer Ebene**, durch die Messung der Menge an Wasser, Proteinen und Lipiden.
3. **Auf Zellebene**, über die Messung der Menge an intra- und extrazellulären Flüssigkeiten.
4. **Auf Ebene des Gewebes**, über die Messung der Menge und Verteilung des Fett-, Skelett- und Muskelgewebes.

3 Methoden zur Messung der Körperzusammensetzung

3.1 Direkte Methoden

Die Verfahren zur Messung der Zusammensetzung der Körpermasse auf atomarer, molekularer und zellulärer Ebene werden als Methoden zur direkten Messung der Körperzusammensetzung bezeichnet. Dazu gehören die Neutronenaktivierung, die Isotopenverdünnung, die Kaliummessung und die «Kriterium-Methoden» (*Criterion Methods*). Letztere messen bestimmte Eigenschaften des Organismus wie beispielsweise die Körperdichte (Densitometrie) oder die Menge und Verteilung des Skelett-, Muskel- sowie Fettgewebes mittels Röntgenstrahlen oder bildgebender Verfahren: Computertomographie (CT; *Computed X-ray Tomography*), Magnetresonanztomographie (MRT) oder Doppelröntgen-Absorptiometrie (DEXA; *Dual Energy X-Ray Absorptiometry*).

Diese Methoden gelten allgemein als Referenzmethoden, da sie direktere und präzisere Resultate liefern. Allerdings sind sie mit hohen Kosten verbunden und erfordern Anlagen und Geräte, die ziemlich schwer und für epidemiologische Studien ungeeignet sind. In klinischen Studien von geringerem Umfang werden sie jedoch oft verwendet.

3.1.1 Neutronenaktivierung

Die Neutronenaktivierung ermöglicht eine *in-vivo*-Quantifizierung der Masse der verschiedenen Atome (Stickstoff, Kohlenstoff, Sauerstoff und Kalzium) auf körperlicher Ebene und damit eine chemische Aufschlüsselung des Organismus [16]. Anhand dieser Technik kann – auf der Basis der Messung der Proteinmasse dank Ermittlung des Kalzium- und Stickstoffgehalts im Körper – die Fettmasse bestimmt werden. Dieses Verfahren ist allerdings sehr kostspielig, und die untersuchten Personen werden einer beträchtlichen Strahlung ausgesetzt.

3.1.2 Isotopenverdünnung (Körperwassermessung)

Diese Methode ermöglicht eine *In-vivo*-Messung der Mengen an extrazellulärem Wasser und des Wassers insgesamt, mittels Verdünnung des Deuterium-

sowie des Sauerstoff-18-Isotops (zwei stabile Isotope). Dazu werden zwei Arten von Markersubstanzen verwendet: mit Deuterium markiertes Wasser bzw. mit Sauerstoff 18 angereichertes Wasser [88]. Das Prinzip des Verfahrens besteht darin, eine bekannte Menge einer Markersubstanz in ein unbekanntes Verdünnungsvolumen einzuführen. Nach Herstellung des Gleichgewichts entspricht die Konzentration der Markersubstanz dem Verhältnis zwischen seiner Menge und dem Verdünnungsvolumen. Da die Menge der verabreichten Markersubstanz und deren Konzentration im Gleichgewichtszustand bekannt sind, kann das Verdünnungsvolumen bestimmt werden. Das Gleichgewicht der Konzentration stellt sich innerhalb von 4 bis 8 Stunden nach der Verabreichung einer bekannten Dosis der Markersubstanz ein. Die Konzentration der Markersubstanz kann im Plasma, im Speichel oder im Urin der Person gemessen werden. Die Dosierungen werden über Massenspektroskopie oder Infrarotspektroskopie vorgenommen. Um ausgehend vom Gesamtvolumen an Körperwasser die Mager- und die Fettmasse bestimmen zu können, müssen zwei Voraussetzungen erfüllt sein: 1) das Fettgewebe enthält kein Wasser; 2) die Magermasse hat einen relativ stabilen Hydrationskoeffizienten von 73,8% [80]. Dieses Verfahren zur Messung des Gesamtkörperwassers ist zuverlässig und genau (Fehlerquote von 1 bis 2%), aber mit verhältnismässig hohen Kosten verbunden. Auch seine Umsetzung ist etwas beschwerlich, da es mehrere Stunden dauert, bis sich nach Verabreichung der Markersubstanz das Gleichgewicht einstellt.

3.1.3 Kalium-40-Messung

Diese Methode [39] ermöglicht die Bestimmung des Gesamt-Kaliumgehalts im Körper. Als Basis dient die Messung der vom radioaktiven Isotop ^{40}K ausgehenden Körper-Radioaktivität, die von Natur aus in geringer Menge und in einem fixen Verhältnis zum stabilen Kalium ^{39}K (0,012% des gesamten Kaliumgehalts) vorhanden ist. Da bekannt ist, dass es sich bei Kalium vorwiegend um ein intrazelluläres Ion (98–99%) handelt, das nicht in den Triglyzeriden vor-

kommt, kann ausgehend von der Messung des gesamten Kaliumgehalts die Menge der Magermasse berechnet werden, indem von einer konstanten Kaliumkonzentration innerhalb der Magermasse ausgegangen wird (68,1 mmol/kg bei Männern und 64,2 mmol/kg bei Frauen). Es handelt sich also um ein gänzlich nicht invasives Verfahren, das jedoch kostspielig und nicht unumstritten ist, da die Kaliumkonzentrationen in der Magermasse bei Hypokaliämie (Kaliummangel) oder Veränderungen der Wasserkompartimente (z.B. pathologische Zustände) variieren können.

3.1.4 Densitometrie

Bei dieser Methode wird der Organismus als Zusammensetzung aus zwei unterschiedlichen Kompartimenten, der Mager- und der Fettmasse, betrachtet (Zweikompartimentmodell). Dieser Methode zufolge kann jedes dieser zwei Kompartimente bestimmt werden, indem die Körperdichte gemessen und davon ausgegangen wird, dass die Magermasse eine relativ konstante chemische Zusammensetzung und Dichte hat, die sich von der Dichte der Fettmasse unterscheidet (0,9 bzw. 1,11 g/ml).

Die Densitometrie mit Unterwasser-Wägung (hydrostatische Densitometrie) [10], bei der das Körpervolumen nach dem Grundsatz von Archimedes gemessen wird, um danach die Dichte zu berechnen, gilt als Goldstandard für das Zweikompartimentmodell, bei dem die Formel von Siri verwendet wird [91, 92]. Eine wesentliche Einschränkung des Verfahrens besteht darin, dass die Person dabei vollständig im Wasser untertauchen muss. Damit beschränkt sich seine Anwendung auf Personen, die diese Bedingung akzeptieren.

Vor Kurzem wurde die Densitometrie mittels verdrängter Luft (Plethysmografie) eingeführt, die sich auf das Boyle-Mariotte-Gesetz stützt (demzufolge das Produkt aus Druck und Volumen konstant ist) [26]. Betritt eine Person einen Raum, dessen Volumen bekannt ist, so verändert sich der Druck innerhalb des Raums proportional zum eintretenden Volumen (z.B. Bod Pod, *Life Measurement Instruments*). Wenn Körpervolumen und -gewicht bekannt sind, kann die Körperdichte bestimmt werden. Ausgehend hiervon wiederum kann mit der Formel von Siri der Prozentanteil der Fettmasse berechnet werden. Die-

ses Verfahren ist schnell und erlaubt die Messung des Volumens einer Person, ohne dass es körperlicher Anstrengungen oder einer besonderen Kooperationsbereitschaft bedarf. Der Nachteil dabei sind allerdings die hohen Kosten.

3.1.5 Doppelröntgenabsorptiometrie (Dual Energy X-Ray Absorptiometry, DXA- oder DEXA-Messung)

Diese Methode ist ein medizinisches Bildgebungsverfahren, bei dem ein Ganzkörper-Scan mit zwei energetisch unterschiedlichen Röntgenquellen (40 KeV und 100 KeV) durchgeführt wird [75]. Diese Röntgenstrahlen erfahren bei der Durchquerung des Körpers eine Abschwächung, die von der Menge und der Beschaffenheit der Materialien abhängt, durch die sie hindurchgehen. Mittels des Absorptionsverhältnisses kann je nach Energie die Art der Materie von ihrer Menge unterschieden werden. Dies ermöglicht eine ziemlich genaue Bestimmung von drei Kompartimenten: der Kalzium-, der Mager- und der Fettmasse. Die hohen Kosten, die mit diesem Verfahren einhergehen, stehen indessen einer häufigen Anwendung zur Bestimmung der Körpermasse im Weg.

3.1.6 Computertomographie (Computed Tomography)

Dieses Röntgenverfahren ermöglicht die Darstellung von Organen oder Geweben in Querschnittbildern (Schnittbildverfahren). Dabei werden die verschiedenen Gewebe in Abhängigkeit von ihrer optischen Dichte dargestellt, die anhand der Abschwächung der von der Quelle ausgehenden Röntgenstrahlung gemessen wird [93]. Mit diesem Verfahren lassen sich die Oberflächen von tiefgelegenen und viszeralem Fettgewebe messen und damit das Verhältnis von viszeraler und subkutaner Adipositas beschreiben. Die Messung der Körperzusammensetzung anhand dieser Methode ist genau, jedoch mit hohen Kosten verbunden.

3.1.7 Magnetresonanztomographie (MRT)

Die Magnetresonanztomographie (MRT) ist ein nicht invasives medizinisches Bildgebungsverfahren, mit dem zwei- oder dreidimensionale Bilder des Körperinneren erstellt werden. Die Methode beruht auf dem Kernspinresonanzprinzip. Dabei wird die Reso-

nanz der Protonen gemessen, die einerseits einem starken Magnetfeld und andererseits einem oder mehreren auf eine typische Frequenz eingestellten transversalelektromagnetischen Wellenzügen ausgesetzt sind. Dieses Verfahren erlaubt eine Unterscheidung des Gesamtfettanteils, indem dessen Methylenradikale bestimmt werden [98], und stellt daher die Referenzmethode dar, mittels welcher andere Methoden geprüft werden können. Es handelt sich indessen um eine kostspielige Methode, deren Messungen und Datenauswertung zeitaufwendig und umständlich sind.

3.2 Indirekte Methoden

Die Anthropometrie und die bioelektrische Impedanzanalyse (bzw. Impedanzanalyse) sind die wichtigsten indirekten Methoden zur Bestimmung der Körpermasse dank Indizes, die im Vergleich zu den direkten Methoden oft ausschliesslich an gesunden Testpersonen validiert wurden. Aus diesem Grund sind die indirekten Methoden weniger genau und werden stärker als die direkten Methoden durch die spezifischen Merkmale der Testprobe und die pathologischen Zustände beeinflusst. Sie werden jedoch häufig in gross angelegten (d.h. epidemiologischen) Studien verwendet, da diese mit wenig Zeitaufwand und geringen Kosten verbunden sind. Um mit indirekten Methoden eine optimale Genauigkeit zu erreichen, müssen sich Kliniker und Forscher bei deren Anwendung in der Praxis an standardisierte Protokolle halten.

3.2.1 Anthropometrische Messungen

3.2.1.1 Körpermasse

Die Körpermasse (das Körpergewicht) sollte mittels einer regelmässig kalibrierten Waage mit einer Mindestgenauigkeit von 100 g bestimmt werden. Um Messfehler zu vermeiden, sollte die zu wiegende Person idealerweise in leichter Bekleidung (Unterwäsche), ohne Schuhe, mit leerem Magen und entleerter Blase gewogen werden [49].

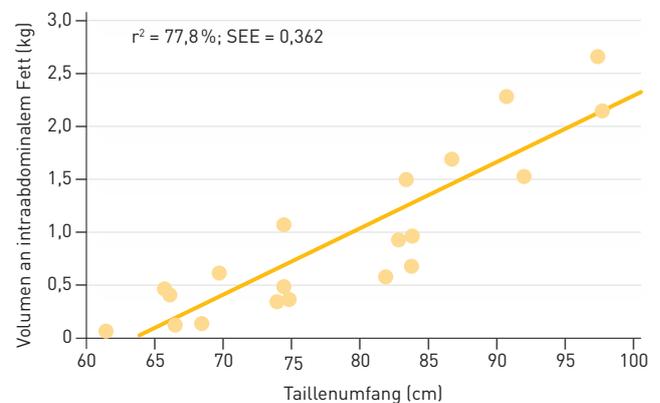
3.2.1.2 Körpergrösse

Die Körpergrösse sollte ohne Schuhe und mit einer Kopfausrichtung entsprechend der «Frankfurter Linie» (d.h. die imaginäre Waagerechte zwischen dem unteren Rand der Augenhöhle und der Öffnung des äusseren Gehörgangs) gemessen werden.

3.2.1.3 Taillenumfang

Zur Messung des Taillenumfangs wurde ursprünglich ein Verfahren entwickelt, das im Vergleich zum Body-Mass-Index (BMI) einfacher ist und potenziell enger mit Gesundheitsrisiken aufgrund von Übergewicht verbunden. Der Taillenumfang ist zudem der bessere anthropometrische Indikator für viszerales Fettgewebe, das für die zentrale oder abdominale Adipositas charakteristisch ist [49] (Abbildung 1).

Abbildung 1: Korrelation zwischen dem Volumen an intraabdominalem Fett (kg), gemessen mittels Magnetresonanztomographie (MRT), und dem Taillenumfang (cm) [48]. r^2 : Bestimmungskoeffizient, SEE: Standardfehler des Mittelwerts



Das letztgenannte Element ist besonders wichtig, da die Fettanhäufung am Abdomen erwiesenermassen stark mit Typ-2-Diabetes, kardiovaskulären Erkrankungen und Krebs (d. h. den wichtigsten mit Adipositas zusammenhängenden Erkrankungen) und allgemeiner, mit dem Mortalitätsrisiko, korreliert [1, 108] (Abbildung 2).

In Bezug auf das Komorbiditätsrisiko einer Person wurden Grenzwerte für den Taillenumfang für Männer und Frauen weisser Hautfarbe festgelegt [106] (Tabelle 1).

Tabelle 1: Gesundheitsrisiko im Verhältnis zum Taillenumfang (cm) [49]

Gesundheitsrisiko*	Mann	Frau
Gering	<94	<80
Erhöht	≥94–101,9	≥80–87,9
Hoch	≥102	≥88

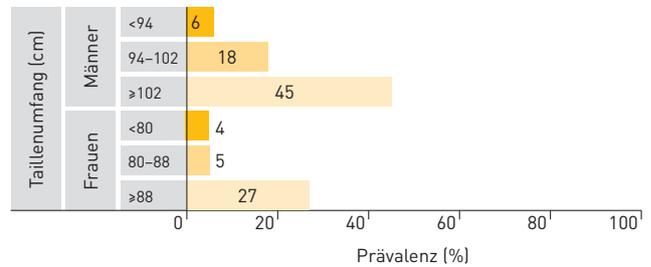
* Risiko für Typ-2-Diabetes, Herzerkrankungen und Bluthochdruck

Der Zusammenhang zwischen Taillenumfang und Körpergrösse ist sehr gering. Die Daten sollten daher nicht einander gegenübergestellt werden (d. h. Relation von Taillenumfang zur Grösse). Ihre Normierung verbessert die Relation zwischen der Anhäufung von intraabdominalem Fett und dem Gesundheitszustand nicht [50]. Allerdings wurde jüngst in einer deutschen Studie nachgewiesen, dass zwar der Taillenumfang, die Relation von Taillenumfang zu Grösse und das Verhältnis von Taillenumfang zu Hüftumfang (Waist-hip ratio) ähnlich gute Prädiktoren für gesundheitliche Risikofaktoren sind, die Relation von Taillenumfang zu Grösse jedoch der aussagekräftigste Wert für die Vorhersage kardiovaskulärer Risikofaktoren ist [86].

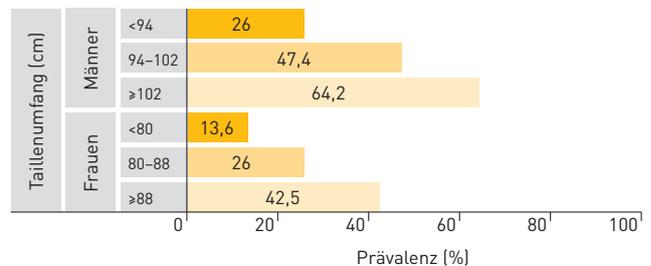
Die Messung des Taillenumfangs stösst allerdings bei der Genauigkeit an ihre Grenzen, insbesondere bei Personen mit extremer Adipositas. Der Taillenumfang sollte im Stehen mit einem Massband auf halber Strecke zwischen dem unteren Rand der letzten Rippe und dem Beckenkamm bei normalem Ausatmen gemessen werden [49]. Bei der Messung sollte nicht vom Nabel als Referenzpunkt ausgegangen

Abbildung 2: Anpassung von [49] und [65]

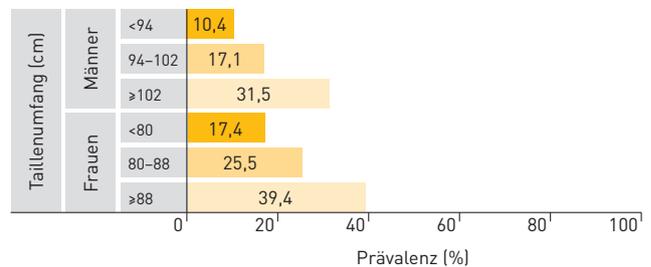
Prävalenz von Diabetes



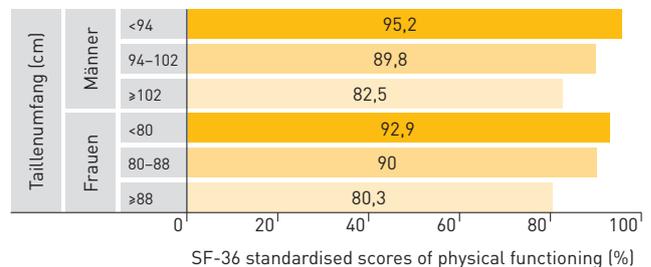
Prävalenz der Risikofaktoren für kardiovaskuläre Erkrankungen (Hypercholesterinämie, HDL [High Density Lipoprotein – Lipoproteine von hoher Dichte] oder Bluthochdruck)



Prävalenz von Atembeschwerden



Prävalenz einer schlechten Lebensqualität bei Personen mit grossem Taillenumfang



werden, da diese anatomische Stelle bei Personen mit extremer Adipositas oder nach einem Gewichtsverlust nicht genau reproduzierbar ist und folglich die Messung des Taillenumfangs stark verfälschen kann [49]. Vor Kurzem wurde ein neues Messgerät (ViScan, Tanita) zur Bestimmung des Taillenumfangs im Liegen mithilfe eines Lasers validiert [89]. Diese technologische Entwicklung scheint recht vielversprechend hinsichtlich einer besseren Standardisierung der Messung durch verschiedene Testleiter. Die Erstherstellungskosten für das Messgerät müssten jedoch sinken, um diese Massnahme für Kliniker und Forscher besser zugänglich zu machen.

3.2.1.4 Waist-hip ratio (Verhältnis von Taillenumfang zu Hüftumfang)

Eine weitere anthropometrische Messungsmethode zur Ermittlung der Körperfettverteilung ist die Waist-hip ratio (Verhältnis von Taille zu Hüfte – T/H). Diese Relation ermöglicht die Unterscheidung der zentralen, androgenen Adipositas (Waist-hip ratio >0,8 bei Frauen bzw. >0,9 bei Männern) von der peripheren, gynoiden Adipositas [94]. Männer mit einer Waist-hip ratio >1 bzw. Frauen mit einer Waist-hip ratio >0,85 haben ein erhöhtes Risiko für kardiovaskuläre Pathologien, Diabetes und Krebs [42, 90]. Es scheint allerdings, dass der Taillenumfang allein ein besserer Prädiktor für viszerales Fettgewebe und das Komorbiditätsrisiko ist als die Waist-hip ratio [48]. Letztere könnte durch die Messung des Hüftumfangs negativ beeinflusst werden, welche den Verlust von Muskelmasse aufgrund des bei adipösen Personen und Patienten im Allgemeinen charakteristischen Bewegungsmangels widerspiegelt [49].

3.2.1.5 Body-Mass-Index (BMI)

Der Body-Mass-Index (BMI) bezeichnet das Verhältnis von Körpergewicht zu Körpergrösse im Quadrat. Er ist ein Indikator für Übergewicht und wird aufgrund seiner Einfachheit und des geringen Zeitaufwands oft in klinischen und epidemiologischen Studien verwendet. Er wurde für die Klassifizierung von Übergewicht und Adipositas sowie des damit verbundenen Komorbiditätsrisikos herangezogen [74, 106]. Allerdings wird beim BMI nicht wirklich die Körperzusammensetzung bestimmt, da er nicht auf die Fett- oder Magermasse einer Person schliessen

lässt. Auf den BMI wird weiter unten in einem speziellen Abschnitt eingegangen (s. Kapitel 4).

3.2.1.6 Body-Adiposity-Index (BAI)

Vor Kurzem haben Bergman et al. [5] einen neuen anthropometrischen Indikator, den Body-Adiposity-Index (BAI), eingeführt, der deutlich ($r=0,79$) mit der mittels DEXA ermittelten Körperfettmasse korreliert. Der BAI beruht auf der Messung des Hüftumfangs und der Körpergrösse entsprechend Formel 1 hiernach.

$$\text{BAI} = \frac{\text{Hüftumfang (cm)}}{\text{Körpergrösse (m)}^{1,5}} \quad [1]$$

Der Vorteil dieses Index besteht darin, dass – im Unterschied zum BMI – nicht das Körpergewicht gemessen werden muss. Nach dieser Studie gab es eine Reihe von Studien, die die Validität und Genauigkeit des BAI prüften und diesen dem BMI und weiteren Verfahren zur Messung der Zusammensetzung der Körpermasse in verschiedenen Populationen gegenüberstellten [33, 41, 45, 66, 104]. Bergman et al. [5] hatten die Validität des BAI ausschliesslich an zwei Ethnien der US-Bevölkerung (Afroamerikaner und Mexikoamerikaner) getestet. Bei Personen weisser Hautfarbe ($n=5193$) wurde nachgewiesen, dass der BAI [104] bei Frauen besser mit dem mittels DEXA bestimmten Körperfettanteil in Prozent (%KFA) korreliert als bei Männern. Bei beiden Geschlechtern liegt diese Korrelation jedoch immer unter jener zwischen BMI und %KFA. Werden Frauen und Männer gemeinsam betrachtet, weist der BAI einer Person mit normalem BMI eine deutliche Korrelation zum %KFA auf. Hingegen wird in diesem Index der %KFA bei Personen mit einem geringen %KFA tendenziell über- und bei adipösen Patienten tendenziell unterschätzt [104]. Diese Ergebnisse bestätigten jene einer früheren Studie [41], die nachweist, dass der (immer mittels DEXA bestimmte) %KFA mit dem BAI korreliert, aber dass dieser Index den %KFA bei Männern unter- (2,5%) bzw. bei Frauen überschätzt (–4%). Zudem variiert dieser Messfehler je nach Grad der Adipositas einer Person [41]. Weiteren Studien an Frauen mit morbidem Adipositas [45] und an Kindern [33] zufolge ist der BAI im Allgemeinen, was die Bestimmung des %KFA anbelangt, weniger genau als der BMI. Mehrere Studien unter-

suchten den Zusammenhang zwischen dem BAI und den Risikofaktoren für kardiovaskuläre Erkrankungen und zeigten, dass der BAI im Allgemeinen weniger gut mit diesen Risikofaktoren korreliert als der BMI [4, 40, 70, 73, 96].

Ausgehend von diesen Studienergebnissen können wir somit bestätigen, dass der BAI bei der Messung der Körperzusammensetzung und dem Zusammenhang mit dem übergewichtsbedingten Gesundheitsrisiko anscheinend nicht über die Grenzen des BMI hinausgeht.

3.2.1.7 Hautfaltenmessung

Die Hautfaltenmessung bezeichnet eine Methode zur indirekten Messung des %KFA, die auf der Bestimmung der Hautfaltendicke mittels einer Fettzange (Caliper) beruht. Die Zange wird zuvor kalibriert und übt auf das Gewebe, unabhängig von dessen Dicke, einen identischen Druck aus. Gemäss den verwendeten Gleichungen können die Körperstellen für die Hautfaltenmessung ändern; normalerweise wird die Messung an Bizeps-, Trizeps-, Schulterblatt- und Hüftfalte sowie an der Oberschenkelmitte vorgenommen. Die Messung ist nicht schwierig und rasch durchzuführen (zumindest bei normalgewichtigen Patienten). Sie muss jedoch so weit wie möglich standardisiert werden, um die andernfalls erheblichen Abweichungen von einem Studienleiter zum andern zu minimieren. Die Summe der Hautfaltendicke wird anschliessend in prädiktive Gleichungen zur Bestimmung des %KFA in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht und Körpergrösse eingefügt. Die zwei von Klinikern oder Forschern am häufigsten bei Erwachsenen verwendeten Gleichungen sind jene von Durnin & Womersley [32] und von Jackson & Pollock [55], die im Vergleich zur hydrostatischen Densitometrie (d. h. zur Referenzmethode) validiert wurden. Slaughter et al. [95] haben zwei Gleichungen bei Kindern und Jugendlichen (8–18 Jahre) validiert, mittels derer der %KFA in Abhängigkeit vom Geschlecht ermittelt werden kann, ausgehend von der Summe der Messwerte am dreiköpfigen Armmuskel (*triceps*

brachii) sowie am dreiköpfigen Wadenmuskel (*triceps surae*).

Die Einschränkungen dieser Methode sind vor allem die folgenden: 1) Schwierigkeit der Faltenmessung bei Personen mit morbidem Adipositas (auch aufgrund der begrenzten Weite der Fettzange); 2) die Validierung der Gleichungen erfolgte oft ausschliesslich an normalgewichtigen Probanden; 3) Unterschätzung des viszeralen Fettgewebes; 4) Unterschätzung des adipösen Gewebes der unteren Körperhälfte, da die Gleichungen zumeist lediglich Hautfalten der oberen Körperhälfte einbeziehen. Aufgrund dieser Einschränkungen ist diese Methode, die in der Anwendung einfach und kostengünstig ist, zwar bei normalgewichtigen Personen ziemlich gut reproduzierbar, bei adipösen Personen jedoch nur schwer anwendbar. Zudem ist der Zusammenhang zwischen %KFA und Hautfalten weniger ausgeprägt als jener zwischen BMI und %KFA [81].

3.2.2 Impedanzanalyse

Die Impedanzanalyse bezeichnet ein einfaches, nicht invasives Verfahren, das von Klinikern und Forschern für epidemiologische, aber auch für Studien im kleineren Rahmen angewandt werden kann. Das Messprinzip beruht auf der Fähigkeit der biologischen Gewebe, einen schwachen Wechselstrom durch den Körper zu leiten, der über Elektroden an der Haut in den Körper geführt wird. Der Körper wird als eine Gesamtheit aus Zellen innerhalb eines Zylinders angesehen, wobei das Volumen (V) des Letzteren seiner Länge (Körpergrösse der Person) mal dem Querschnitt (S) [14, 53] entspricht:

$$V = \text{Körpergrösse} \times S \quad [2]$$

Dieses Volumen leistet dem durch den Körper geleiteten Wechselstrom Widerstand wie in der Impedanzgleichung dargestellt¹ (Z):

$$Z = R \times \frac{\text{Körpergrösse}}{S} \quad [3]$$

¹ Die Impedanz wird mittels Wechselstrom gemessen. Sie nutzt, dass biologische Gewebe unterschiedliche Ionenleiter sind (mit Unterschieden bei Widerstand und Leitfähigkeit).

Wobei R den Widerstand darstellt, der die Leitfähigkeit der Extrazellulärflüssigkeit angibt, ausgedrückt in $\text{Ohm} \times \text{m}$. R ist abhängig von den Ionen, aus denen sich der Körper zusammensetzt, sowie von der Körpertemperatur. R wurde anhand von Verdünnungsmethoden ermittelt. Durch die Kombination von Gleichung 2 und Gleichung 3 kann man das Volumen berechnen:

$$V = \frac{R \times \text{Körpergrösse}^2}{Z} \quad [4]$$

Hierbei wird die Grösse ausgedrückt in m, Z in Ohm und R in $\text{Ohm} \times \text{m}$. So wird auf der Basis von Grösse und Körperimpedanz (Z) das Körpervolumen berechnet.

Die effektiv erhaltenen Volumen entsprechen den Wasservolumen, die von den verwendeten Wechselströmen abhängen. Bei niedriger Frequenz (<5 kHz) kann der Strom die Zellmembranen nicht durchdringen, und das Volumen, das gemessen wird, ist das des Extrazellulärwassers. Bei hohen Frequenzen (>50 kHz) hingegen dringt der Strom auch durch die Zellmembranen ein und ermöglicht somit die Messung des Gesamtkörperwassers. Dank dieser Art der Messung kann auch die Magermasse, in Abhängigkeit des Wassergehalts der Magermasse (73,8%), bestimmt werden [10]. Die Fettmasse wird anschliessend abgeleitet, indem die Magermasse von der Gesamtkörpermasse abgezogen wird. Komplexere Formeln, die die Morphologie des Körpers (der nicht einem einfachen Zylinder entspricht) und die elektrische Inhomogenität der Gewebe berücksichtigen, wurden anschliessend entwickelt [23]. Die Impedanz kann sich ferner auf eine oder mehrere Frequenzen, auf den gesamten Körper von den Füissen zu den Händen [67] oder auf ein Segment [43] beziehen. Um die Messung der Körperzusammensetzung anhand der Impedanzanalyse zu verbessern, wurden anschliessend verschiedene Gleichungen entwickelt. Dabei wurde das durch andere anthropometrische Variablen (Gewicht, Alter, Geschlecht, ethnische Zugehörigkeit, Schulterbreite, Grösse, H/T und BMI) berechnete Volumen korrigiert [34].

Die Grenzen der Impedanzanalyse sind vornehmlich im unterschiedlichen Hydratationsniveau der Gewebe und der Körperstruktur erwachsener Personen zu sehen, für die die meisten Gleichungen entwickelt wurden. Diese Unterschiede, die mit bestimmten Pathologien, Adipositas, Alter und ethnischer Zugehörigkeit zusammenhängen, können mit den Messungen der Körperzusammensetzung, die anhand dieser Methode durchgeführt wurden, interferieren.

4 Body-Mass-Index (BMI)

Der BMI bezeichnet das Verhältnis von Körpergewicht zu Körpergrösse im Quadrat². Er stellt einen Indikator für Übergewicht dar, unabhängig von der Körpergrösse, und bestimmt das Körperprofil einer Person. Die wesentlichen Vorteile des BMI sind der geringe Zeitaufwand und die Einfachheit der Messung sowie das Vorliegen von Referenzwerten für die einzelnen Länder, die einen internationalen Vergleich erleichtern. Der Hauptnachteil hingegen ist darin zu sehen, dass der BMI die Körperzusammensetzung nicht direkt misst und auch nicht die Fett- und Magermasse einer Person bestimmt. Es wurde indessen nachgewiesen, dass der BMI mit dem Prozentanteil der Fettmasse [44], der Morbidität und der Mortalität korreliert und sich für Vorhersagen zu den künftigen Gesundheitsrisiken übergewichtiger Personen eignet [11, 44, 68, 79, 99]. Zudem ist der BMI eine nützliche Variable für die Betreuung adipöser Personen, da er ziemlich sensibel auf Veränderungen der Körperzusammensetzung nach Behandlungen reagiert (d.h. eine Änderung der Körpermasse um ~3,5 kg ist erforderlich, um eine Veränderung um 1 Einheit des BMI herbeizuführen) [15]. Der BMI, der ursprünglich ausschliesslich für Erwachsene entwickelt wurde, wird mittlerweile auch als Index für Adipositas oder Übergewicht bei Kindern und älteren Personen verwendet. Während hohe BMI-Werte während der Kindheit gut mit dem Risiko für Adipositas korrelieren, scheint der Zusammenhang zwischen BMI und Morbidität im Erwachsenenalter weniger deutlich zu sein [47]. Bei älteren Personen kann die Bestimmung des BMI durch den Verlust an Muskelmasse (Sarkopenie), der für den Alterungsprozess charakteristisch ist, beeinträchtigt werden.

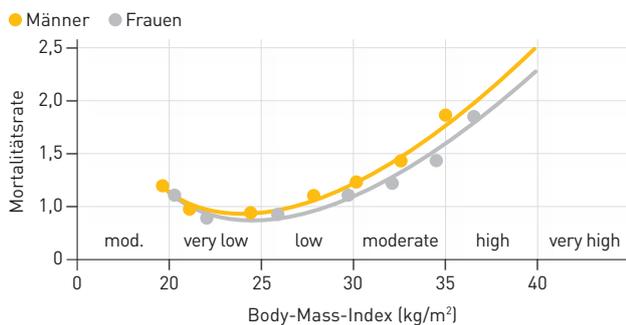
4.1 Historischer Hintergrund

Bereits 1942 hatte ein Statistiker des Versicherungsunternehmens *Metropolitan Life Insurance Company* (MLIC, USA) auf eine Verbindung zwischen Lebenserwartung und Körpermasse hingewiesen. Die Lebenserwartung war höher, wenn die Körpermasse so lange wie möglich auf dem Niveau verharrte, das bei der jeweiligen Person im Alter von 25 Jahren gemessen worden war [62]. 1959 veröffentlichte die MLIC eine Tabelle, welche die idealen Körpermasse (Idealgewicht) für die jeweilige Altersstufe definierte [72]. Im Jahr 1983 wurden die Werte einer idealen Körpermasse revidiert und eine Zusatztafel herausgegeben, die die ideale Körpergrösse (Statur) in Abhängigkeit vom Alter enthielt [71]. Adipositas wurde definiert als das Überschreiten des Idealwertes der Körpermasse gemäss diesen Tabellen um 20%. Auch wenn dieser Ansatz von Forscherkreisen gut aufgenommen wurde, waren die Tabellen der MLIC jedoch komplex, wiesen technische Mängel auf und waren für die Untersuchung der Patienten im klinischen Umfeld oder bei epidemiologischen Feldstudien schwierig anzuwenden. Da die Körpermasse in Abhängigkeit der Grösse einer Person steigt, schien es absolut gerechtfertigt, die Körpermasse über die Grösse einer Person zu normieren. Ausgehend von diesem Prinzip wurde der Body-Mass-Index (BMI) als Relation zwischen der Körpermasse und der Grösse im Quadrat definiert (Masseinheit: kg/m²). Ausserdem ist ein Anstieg des BMI mit einem Anstieg von Adipositas verbunden [60]. Im Gesundheitswesen etablierte sich der BMI ab 1980 als gebräuchlicher Indikator für das Komorbiditätsrisiko aufgrund von Übergewicht [27]. Schon 1869 hatte Adolphe Quételet eine ähnliche Formel für die Bestimmung des Körperprofils eingeführt [78]. 1985 definierte das *National Institutes of Health Consensus Panel* Übergewicht/Adipositas als BMI $\geq 27,8$ bei Männern

² Der BMI kann auch unter Verwendung der Länge der oberen oder unteren Gliedmassen berechnet werden, wenn die Testperson nicht stehen kann.

bzw. $\geq 27,3$ bei Frauen [62]. Diese BMI-Werte entsprechen in etwa +20% des Wertes der idealen Körpermasse, wie er durch die Referenzwerte der MLIC definiert worden war. 1997 passte die Weltgesundheitsorganisation (WHO) in einem spezifischen Konsultationsprozess zu Adipositas diese Referenzwerte an und erstellte eine neue Klassifikation für Übergewicht und Adipositas in Abhängigkeit vom BMI (Tabelle 2) [107]. Ein Jahr danach übernahm das Experten-Panel des *National Heart, Lung and Blood Institute (NHLBI)*, USA, die WHO-Klassifikation [74]. Bray [9] wies bereits 1992 auf eine inverse parabolische Relation zwischen Mortalität und BMI hin. Demnach steigt die Mortalitätsrate bei einem BMI unter 18,5 und bei einem BMI über 30 an (Abbildung 3).

Abbildung 3: Relation zwischen Body-Mass-Index und Mortalität [9]



4.2 Der Body-Mass-Index (BMI) beim Erwachsenen

Unten stehende Tabelle enthält die Klassifikation des Körperprofils in Abhängigkeit von BMI und Taillenumfang gemäss WHO [107] mit entsprechendem Komorbiditätsrisiko. Diese Kategorien geben das relative Risiko für die Gesundheit im Verhältnis zum normalen Körperprofil an, nicht das absolute.

Die WHO-Klassifikation des Körperprofils beruht auf tatsächlich gemessenen Werten der Körpermasse und des Taillenumfangs für die Berechnung des BMI (d. h. «gemessener BMI»). Eine Einteilung ausgehend von selbst angegebenen Werten für Körpermasse und Taillenumfang für die Berechnung des BMI (d. h. «angegebener BMI») kann zu Fehlern in der Klassifikation führen. Es ist erwiesen, dass Personen, unabhängig vom Geschlecht, ungenaue Angaben zu ihrem Gewicht und Taillenumfang machen, wenn sie in Fragebögen oder Interviews danach gefragt werden [85, 100]. Jüngst zeigten Stommel & Schoenborn [101] unter Verwendung der Daten für die Jahre 2001–2006 aus dem *National Health Interview Survey* sowie dem *National Health and Nutrition Examination Survey (USA)*, dass – selbst wenn die angegebenen BMI-Werte gut mit den gemessenen korrelieren – der aus angegebenen Daten berechnete BMI den «gemessenen BMI» am unteren Ende der Skala (BMI <22) tendenziell über- und am oberen Ende der Skala (BMI >28) tendenziell unterschätzt. Dieser Befund hängt auch vom Alter (die jüngsten und die ältesten Personen unter-

Tabelle 2: Klassifikation des Körperprofils in Abhängigkeit von BMI und Taillenumfang und Komorbiditätsrisiko* [74,107]

Kategorie	BMI (kg/m²)	Relatives Komorbiditätsrisiko im Verhältnis zum normalen Körperprofil in Verbindung mit BMI und Taillenumfang	
		Mann <102 cm Frau <88 cm	Mann \geq 102 cm Frau \geq 88 cm
Untergewicht	<18,5	Nicht erhöht	Nicht erhöht
Normalgewicht	18,5–24,9	Nicht erhöht	Erhöht
Übergewicht	25,0–29,9	Erhöht	Hoch
Adipositas Grad I	30,0–34,9	Hoch	Sehr hoch
Adipositas Grad II	35,0–39,9	Sehr hoch	Extrem hoch
Adipositas Grad III	\geq 40,0	Extrem hoch	Extrem hoch

* Risiko für Typ-2-Diabetes, Herzerkrankungen und Bluthochdruck

schätzen den BMI stärker als Erwachsene zwischen 42 und 55 Jahren), dem Geschlecht (Frauen unterschätzen ihren BMI in höherem Masse als Männer) sowie von der ethnischen Zugehörigkeit der betreffenden Personen ab. Diese Messfehler können zu einer ungenaueren Klassifikation bestimmter Personen in den von der WHO definierten Kategorien führen. Dieselben Autoren haben jedoch nachgewiesen, dass die angegebenen BMI-Werte, wenn sie durch statistische Modelle, die bestimmte Variablen wie Geschlecht, Alter, ethnische Zugehörigkeit, Zivilstand sowie Schwangerschaft bei Frauen berücksichtigen, korrigiert werden, sehr nahe bei den gemessenen BMI-Werten liegen. Zudem ermöglichte dieser «angegebene» und korrigierte BMI eine ähnliche Bestimmung der Risiken in Verbindung mit dem BMI wie der «gemessene BMI» [101]. Hattori & Sturn [51] untersuchten jüngst, ob sich die Beziehung zwischen dem angegebenen und dem gemessenen BMI zwischen 1999 und 2008 aufgrund der umfassenderen Medienberichterstattung zu Adipositas über die letzten Jahre verändert hat. Den Ergebnissen der Studie zufolge sind die Fehler in der Klassifikation der Einzelindividuen in Bezug auf ihr Körperprofil durch den angegebenen BMI ähnlich und blieben während des vergangenen Jahrzehnts stabil: Jede siebte adipöse Person wird aufgrund einer Unterschätzung des angegebenen BMI als nicht adipös klassifiziert. Diese Resultate wurden durch eine Schweizer Studie bestätigt, die zu dem Schluss kam, dass der «angegebene BMI» die Prävalenz von Adipositas in der Schweiz im Vergleich zum «gemessenen BMI» unterschätzt [35]. Allerdings ergibt die Verwendung der beiden Messverfahren denselben Anstieg der Prävalenz von Adipositas in der Schweiz im Lauf der letzten drei Jahrzehnte (gemessener BMI: absoluter Anstieg pro Jahr bei Männern 0,24%, bei Frauen 0,25%; angegebener BMI: absoluter Anstieg pro Jahr bei Männern 0,17%, bei Frauen 0,20%).

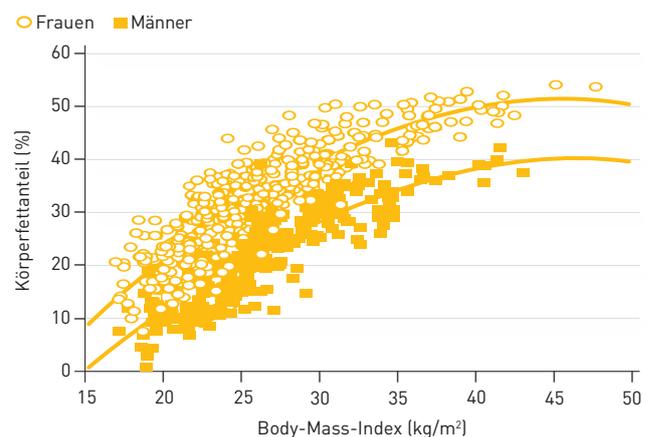
4.2.1 Relation zwischen Body-Mass-Index und Körperzusammensetzung

Der BMI ist der in klinischen und epidemiologischen Studien am häufigsten verwendete Indikator für das Körperprofil. Grund dafür ist die Einfachheit des Messverfahrens [97] sowie vor allem die Tatsache, dass der BMI nachweislich genaue Vorhersagen zum

Gesamtkörperfett (Index für Adipositas) zulässt [44, 70, 87], und die Tatsache, dass er gut mit der viszeralen Fettmasse korreliert [70, 105]. Dieser Zusammenhang zwischen BMI und Adipositas wurde jedoch von einzelnen Forschern in Frage gestellt, da der BMI keine präzise Messung der Körperzusammensetzung und der Verteilung der Fettmasse im Körper (Element, das eng mit den Komorbiditätsrisikofaktoren verbunden ist) sein könne. So kann eine Person mit einer hohen Muskelmasse (z.B. ein Sportler) einen BMI haben, der ausserhalb des Bereichs liegt, der für das normale Körperprofil definiert wurde, ohne jedoch einen Körperfettanteil aufzuweisen, der sich von dem einer gleichaltrigen, gesunden, nicht Sport treibenden Person mit einem normalen BMI unterscheidet. Dies kann zu Ungenauigkeiten bei der Definition von Adipositas ausgehend vom BMI führen, insbesondere bei BMI-Werten zwischen 20 und 30 [69]. Ein Sportler kann selten lediglich aufgrund einer starken Entwicklung seiner Muskelmasse einen BMI von über 30 aufweisen [49]. Dieser BMI-Bereich scheint für die Korrelation des BMI mit dem Körperfettanteil in Prozent (%KFA) tatsächlich eine entscheidende Rolle zu spielen.

Jackson et al. [56] wiesen nach, dass die Relation zwischen %KFA und BMI einer kurvenförmigen Beziehung entspricht und dass Personen mit demselben BMI erhebliche Abweichungen beim %KFA haben können (Abbildung 4).

Abbildung 4: Kurvenförmige Relation zwischen Body-Mass-Index (BMI) und Körperfettanteil in Prozent (%KFA) bei Männern (n=296) und Frauen (n=359) gemäss der HERITAGE-Studie [56]



Des Weiteren kann die Relation zwischen BMI und %KFA von verschiedenen Faktoren wie Alter, Geschlecht, ethnischer Zugehörigkeit sowie sozialen Faktoren beeinflusst werden, wodurch die Messung schwer zu verallgemeinern ist [30, 56].

Um die Auswirkungen dieser Einflussfaktoren auf den BMI zu begrenzen, schlugen Dulloo et al. [30] vor, die BMI-Messung mit dem Index für die Magermasse ($IMM = MM/Grösse^2$) und dem Index für die Fettmasse ($IFM = KFA/Grösse^2$) zu kombinieren, die zuvor durch VanItallie et al. [102] definiert worden waren, entsprechend folgender Gleichung:

$$BMI = IMM + IFM \quad [5]$$

Die BMI-Berechnung hängt nicht mehr von der Körpermasse, sondern von der Körperzusammensetzung ab. Somit kann ein Anstieg (oder eine Abnahme) des BMI von einem Anstieg (oder einer Abnahme) der Werte MM und/oder KFA abhängen. Für einen bestimmten BMI muss der KFA sinken, wenn die MM steigt, da bei einem stabilen BMI eine inverse Beziehung zwischen den zwei Komponenten besteht. Diese Art der BMI-Berechnung würde es ermöglichen:

- festzustellen, ob der Anstieg (oder die Abnahme) der Körpermasse auf eine Veränderung von MM und/oder KFA zurückgeht (Auswirkung der Körperzusammensetzung auf den BMI);
- den Einfluss des Alters auf den KFA besser einzubeziehen, was dank des IFM einen korrekteren Vergleich zwischen Personen unterschiedlicher Grösse erlaubt;
- die Auswirkungen von Sarkopenie und Muskelhypertrophie auf den BMI über die IMM-Messung besser bestimmen zu können.

Der eigentliche Schwachpunkt dieser neuen Methode der BMI-Berechnung, bei der die Körperzusammensetzung mit berücksichtigt wird, ist die ungenügende Genauigkeit der zur Bestimmung der Fett- und Magermasse verwendeten Verfahren, die zudem nur schwer zugänglich und kostspielig sind.

4.2.2 Zusammenhang zwischen Body-Mass-Index und Komorbiditäts- und Mortalitätsrisiko

Verschiedene Studien [35] haben gezeigt, dass ein Anstieg des BMI mit einer Erhöhung des Morbiditäts- und Mortalitätsrisikos assoziiert ist, einschliesslich des Risikos für kardiale Ischämie [68], Schlaganfall [99] und verschiedene Krebsarten [11, 79]. Zudem haben Studien ergeben, dass die Mortalitätsrate für normale Körperprofile (d.h. bei einem BMI zwischen 20 und 24,9) am niedrigsten ist [6, 20]. Auf diesen Zusammenhang zwischen BMI und Mortalität ist die Fachliteratur [13, 29, 38, 59, 64, 84] bislang nicht immer eingegangen, da es verschiedene Störfaktoren geben kann, die im Rahmen eines Studienprotokolls nicht ausreichend berücksichtigt werden und den BMI und/oder die Körpermasse und deren Auswirkungen auf die Mortalität beeinflussen können. Zu diesen Faktoren zählen Vorerkrankungen, Rauchen, Alter, Geschlecht, ethnische Zugehörigkeit und das Ausmass der körperlichen Aktivität [30]. Jüngst wurde aber im Rahmen der *Perspective Studies Collaboration* anhand von Daten aus 57 Studien mit ~900 000 Probanden der Zusammenhang zwischen BMI und Mortalität über einen Zeitraum von 8 Jahren untersucht, wobei Alter, Geschlecht, Raucherstatus und Bildungsstand berücksichtigt wurden [20]. Die Ergebnisse dieser Studie haben gezeigt, dass das Mortalitätsrisiko unter Berücksichtigung des Raucherstatus für beide Geschlechter und alle Altersgruppen bei einem BMI zwischen 22,5 und 25,0 am niedrigsten war. Oberhalb dieses BMI-Bereichs war jede Erhöhung um 5 kg/m² mit einem Anstieg der Gesamtmortalität um 30% assoziiert (40% vaskuläre Mortalität; 60–120% diabetische, renale und hepatische Mortalität; 10% neoplastische Mortalität; 20% respiratorische Mortalität und andere Mortalitätsursachen). Bei einem BMI zwischen 30,0 und 35,0 betrug die Verringerung der Lebenserwartung 2 bis 4 Jahre und bei einem BMI zwischen 40,0 und 45,5 8 bis 10 Jahre (mit Tabakkonsum vergleichbare Verringerung). Für BMI-Werte unter 22,5 bestand eine inverse Relation zwischen BMI und Mortalität, was wahrscheinlich auf die starke inverse Relation zwischen Mortalität und durch Rauchen verursachte respiratorische Pathologien zurückzuführen ist.

Allerdings haben Jerant & Franks [59] kürzlich anhand der Daten von ~51 000 Erwachsenen im Alter von 18 bis 90 Jahren (2000–2005 *Medical Expenditures Panel Survey*) nachgewiesen, dass nur schwere Adipositas (d.h. ein BMI $\geq 35,0$) im Zusammenhang mit Diabetes und Hypertonie mit der Mortalität korrelierte. Dieses Ergebnis wurde anschliessend durch Flegal et al. [38] im Rahmen einer Metaanalyse von 97 Studien mit insgesamt ~2,88 Millionen Teilnehmern und ~270 000 Todesfällen bestätigt. Diese Studie zeigte, dass Adipositas (alle drei Schweregrade zusammen, BMI ≥ 30) im Vergleich zu einem normalen Körperprofil mit einem Anstieg der Gesamtmortalität assoziiert war. Betrachtet man jedoch die drei Schweregrade von Adipositas getrennt, korrelierten nur die Grade II und III (BMI ≥ 35) mit der Mortalität, nicht jedoch Grad I ($30 \leq \text{BMI} < 35$). Dies deutet darauf hin, dass die übermässige Mortalität bei Adipositas vor allem bei besonders hohen BMI-Werten prädominant ist. Zudem wurde bei bereits übergewichtigen Personen die niedrigste Mortalitätsrate verzeichnet (Adipositas-Paradoxon). Dieses Paradoxon kann dadurch erklärt werden, dass Patienten mit vorbestehender Adipositas eine bessere medizinische Versorgung erhalten und von einer metabolischen Kardioprotektion aufgrund des erhöhten Körperfettanteils sowie von einer höheren metabolischen Reserve profitieren [38]. Diese Ergebnisse führten in der internationalen Fachliteratur zu einer lebhaften Diskussion über das Adipositas-Paradoxon und den Zusammenhang zwischen Adipositas und dem assoziierten Mortalitätsrisiko [37, 54], wobei die Eignung des BMI für die Definition der Körperprofilkategorien in Frage gestellt wurde [103]. Flegal et al. [37] bestätigten jedoch, dass der BMI – trotz all seiner Einschränkungen hinsichtlich der Evaluation der Körperzusammensetzung – bei der klinischen Entscheidungsfindung hilfreich sein kann, da der BMI als erster Schritt («a first step forward [...]» [52] «BMI is a first step for anybody» [54]) hin zu einem umfassenderen und tiefer gehenden Verständnis des Komorbiditäts- und Mortalitätsrisikos bei Übergewicht dienen könne.

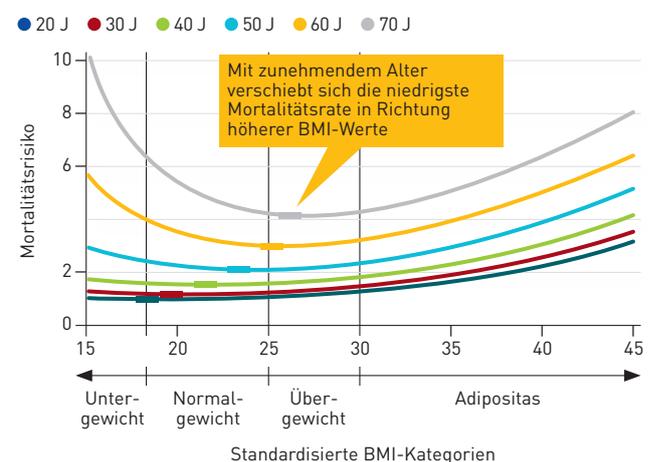
4.2.3 Einschränkungen des Body-Mass-Index

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass für den BMI als Phänotyp für Gesundheitsrisiken (*health risk phenotype*) die folgenden Einschränkungen gelten:

- Nur 2/3 der interindividuellen Variabilität bei allen Formen von Adipositas können durch den BMI erklärt werden [60].
- Der BMI berücksichtigt weder Geschlecht, noch ethnische Zugehörigkeit, Alter und körperliche Leistungsfähigkeit (Fitness), um die Variationen beim Körperfettanteil selbst bei Personen mit gleicher Körpermasse zu erklären [30, 56].
- Die ethnische Zugehörigkeit und das Alter (Abbildung 5) können die Beziehung zwischen Komorbiditäts- und Mortalitätsrisiko und BMI beeinflussen [12, 21, 57].
- Die Verteilung des Körperfettanteils kann zwischen einzelnen Personen enorm variieren, selbst bei Personen mit gleichem Adipositas-Schweregrad. Dieser Punkt ist von grosser Bedeutung, da das mit Übergewicht assoziierte Komorbiditätsrisiko bei zentraler Adipositas erhöht ist [58].

In Anbetracht dieser Einschränkungen schlugen die WHO [107] und die NIH [74] vor, neben dem BMI auch den Taillenumfang zu berücksichtigen, um die Prävention chronischer Erkrankungen und vorzeitiger Todesfälle infolge Übergewicht zu verbessern. Besonders zu beachten sind diese Einschränkungen bei

Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Mortalitätsrisiko und BMI (Body-Mass-Index) nach Alter [54]



der Identifikation von adipösen oder übergewichtigen Risikopatienten mit Schweregrad I (von Dr. Y. Schutz als «Grauzone» bezeichnet, siehe Seite 23). Um die Identifikation dieser Patienten zu verbessern, empfehlen die NIH [74] deshalb eine Evaluation der herkömmlichen Risikofaktoren, etwa durch Messung des Blutdrucks, der Triglyzerid-Konzentration im Plasma und der Nüchtern glukose.

4.3 Der Body-Mass-Index beim Kind

Beim Kind – wie beim Erwachsenen – ist die Bestimmung des Körperfettanteils für eine genaue Definition des Übergewichts und der Adipositas nicht praktikabel, insbesondere nicht bei gross angelegten Untersuchungen wie epidemiologischen Studien. Deshalb erfolgt die Klassifikation des Körperprofils auch beim Kind ausgehend vom BMI.

Im Gegensatz zum Erwachsenen ändert sich der BMI-Wert beim Kind mit zunehmendem Alter aufgrund seines Wachstums [19, 83]. Bei der Geburt ist der mittlere BMI mit 13 kg/m^2 am niedrigsten, anschliessend steigt er beim Einjährigen auf 17 kg/m^2 , geht beim Sechsjährigen auf $15,5 \text{ kg/m}^2$ zurück und steigt beim Zwanzigjährigen wieder auf 21 kg/m^2 an. Bei der Verwendung dieser Masszahl müssen für die altersabhängige Definition der Übergewichts- und Adipositaskategorien präzise Schwellenwerte in Form von Referenzperzentilen zugrunde gelegt werden [76]. In den Vereinigten Staaten wurden ausgehend von den Daten einer nationalen Gesundheits-erhebung bei Kindern die Schwellenwerte für Übergewicht und Adipositas beim Kind auf die 85. und die 95. Perzentile des altersspezifischen BMI gelegt [2] (die Wachstumskurven und ihre Perzentilen wurden anschliessend revidiert – *CDC Growth Charts: United States* [63] – siehe <http://1.usa.gov/bLBEsb>). Diese beiden für die US-Bevölkerung völlig willkürlich festgelegten Schwellenwerte sind in den anderen Ländern nicht gültig. Daher ist es nicht angezeigt, sich auf internationaler Ebene nach diesen beiden Perzentilen zu richten. Jedes Land sollte auf der Grundlage einer repräsentativen und homogenen Stichprobe der nationalen kindlichen Bevölkerung seine eigenen Referenzperzentilen bestimmen und so die verschiedenen Körperprofil-Klassen korrekt

definieren. Die Durchführung einer solchen Untersuchung ist allerdings nicht einfach, weshalb die *International Obesity Task Force (IOTF)* vorgeschlagen hat, Schwellenwerte beim Kind festzulegen, die direkt aus den für Erwachsenen bestimmten BMI-Schwellenwerten (25 kg/m^2 für Übergewicht und 30 kg/m^2 für Adipositas) extrapoliert sind. In Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe der IOTF haben Cole et al. [17] in ihrem Artikel eine internationale Untersuchung beschrieben, bei der sechs grosse nationale epidemiologische Studien (Brasilien, Grossbritannien, Hongkong, Niederlande, Singapur und Vereinigte Staaten) ausgewertet wurden. Anhand der Ergebnisse konnten sie Schwellenwerte für Übergewicht und Adipositas beim Kind (2–18 Jahre) festlegen, die aus BMI-Schwellenwerten für Erwachsene (BMI von 25 bzw. 30 für 18-Jährige) extrapoliert wurden und daher international gültig sind (Tabelle 3; Anhänge I und II).

Tabelle 3: Internationale BMI-Schwellenwerte für Übergewicht und Adipositas bei Jungen und Mädchen von 2 bis 18 Jahren, die aus den BMI-Schwellenwerten für 18-Jährige von 25 kg/m² bzw. 30 kg/m² extrapoliert wurden. Als Berechnungsgrundlage dienten die Mittelwerte der Studiendaten aus Brasilien, Grossbritannien, Hongkong, den Niederlanden, Singapur und den Vereinigten Staaten (98000 Jungen und 95000 Mädchen) [17].

Alter (Jahre)	BMI 25 kg/m ²		BMI 30 kg/m ²	
	Jungen	Mädchen	Jungen	Mädchen
2	18,41	18,02	20,09	19,81
2,5	18,13	17,76	19,80	19,55
3	17,89	17,56	19,57	19,36
3,5	17,69	17,40	19,39	19,23
4	17,55	17,28	19,29	19,15
4,5	17,47	17,19	19,26	19,12
5	17,42	17,15	19,30	19,17
5,5	17,45	17,20	19,47	19,34
6	17,55	17,34	19,78	19,65
6,5	17,71	17,53	20,23	20,08
7	17,92	17,75	20,63	20,51
7,5	18,16	18,03	21,09	21,01
8	18,44	18,35	21,60	21,57
8,5	18,76	18,69	22,17	22,18
9	19,10	19,07	22,77	22,81
9,5	19,46	19,45	23,39	23,46
10	19,84	19,86	24,00	24,11
10,5	20,20	20,29	24,57	24,77
11	20,55	20,74	25,10	25,42
11,5	20,89	21,20	25,58	26,05
12	21,22	21,68	26,02	26,67
12,5	21,56	22,14	26,43	27,24
13	21,91	22,58	26,84	27,76
13,5	22,27	22,98	27,25	28,20
14	22,62	23,34	27,63	28,57
14,5	22,96	23,66	27,98	28,87
15	23,29	23,94	28,30	29,11
15,5	23,60	24,17	28,60	29,29
16	23,90	24,37	28,88	29,43
16,5	24,19	24,54	29,14	29,56
17	24,46	24,70	29,41	29,69
17,5	24,73	24,85	29,70	29,84
18	25,00	25,00	30,00	30,00

Im Jahr 2007 haben Cole et al. [18] im Rahmen einer internationalen Untersuchung und anhand derselben Methode die Schwellenwerte für Untergewicht beim Kind und Erwachsenen definiert. Auch die WHO hat Schwellenwerte für Kinder von 0 bis 5 Jahren bzw. von 5 bis 18 Jahren festgelegt, mit denen die verschiedenen Körperprofil-Kategorien identifiziert werden können. Die Grundlage dafür bildeten Daten von ~8500 Kindern von 0 bis 5 Jahren aus verschiedenen Ländern (Brasilien, Ghana, Indien, Norwegen, Oman und Vereinigte Staaten), die im Rahmen der *Multicenter Growth Reference Study* der WHO gewonnen wurden, sowie Daten von ~23000 Kindern im Alter von 5 bis 18 Jahren, die das *National Center for Health Statistics* erhoben hat [24, 25]. Ausgehend von diesen Schwellenwerten wird Übergewicht als BMI >90. Perzentile, Adipositas als BMI >97. Perzentile und extreme Adipositas als BMI >99,5. Perzentile definiert. Zu beachten ist, dass im Alter von 19 Jahren für beide Geschlechter die BMI-Werte +1s (Standardabweichung) (25,4 kg/m² für Jungen und 25,0 kg/m² für Mädchen) den für Erwachsenen definierten Schwellenwerten für Übergewicht (25 kg/m²) entsprechen und dass die BMI-Werte +2s (29,7 kg/m² für beide Geschlechter) mit dem Schwellenwert vergleichbar sind, der Adipositas beim Erwachsenen (>30 kg/m²) definiert. Letztlich ergeben diese 2007 von der WHO definierten Schwellenwerte [24, 25] eine Körperprofil-Klassifikation, die stark derjenigen gleicht, welche die Arbeitsgruppe der IOTF ausgearbeitet hat [18, 19].

Wie bereits in der Einleitung zu diesem Absatz erwähnt, korrelieren die BMI-Werte beim Kind – im Gegensatz zum Erwachsenen – stark mit dem Risiko, eine Adipositas zu entwickeln. Der Zusammenhang zwischen BMI und Morbidität scheint hingegen im Erwachsenenalter weniger eindeutig zu sein [47].

4.4 Der Body-Mass-Index und die Empfehlungen in der Schweiz

In der Schweiz werden für die Definition des Körperprofils beim Erwachsenen die BMI-Schwellenwerte der WHO [107] angewendet. Beim Kind sind die Klassifikationskriterien weniger klar festgelegt und unterscheiden sich zwischen den verschiedenen Akteuren.

Gesundheitsförderung Schweiz verwendet die von Cole et al. etablierten internationalen Normen [17, 18] (siehe <http://bit.ly/16Q7V3i>). Zimmermann et al. [109, 110] haben gezeigt, dass die gemäss internationalen [17, 18] oder US-amerikanischen Tabellen [63] geltenden BMI-Schwellenwerte für Übergewicht und Adipositas gut mit dem mittels Hautfaltenmessung bestimmten Körperfettanteil bei Schweizer Kindern von 6 bis 12 Jahren ($n=2431$) korrelieren. Die internationalen Kriterien sind jedoch bei der Klassifikation von Adipositas weniger sensibel als die US-amerikanischen, da 40–50% der Kinder nicht als adipös eingestuft werden. Dies zeigt deutlich, wie wichtig es ist, auf die nationalen Gegebenheiten abgestimmte Wachstumskurven zu wählen. Persönlich bin ich jedoch der Meinung, dass diese Differenz auch auf mögliche Ungenauigkeiten bei der Bestimmung des Körperfettanteils mittels Hautfaltenmessung beim Kind zurückgeführt werden kann. Tatsächlich scheinen die internationalen Kriterien für die Schweiz geeigneter zu sein als die US-amerikanischen. Daher schliesse ich mich der Wahl von Gesundheitsförderung Schweiz an, für die Definition der Körperprofil-Kategorien beim Kind die internationalen Kriterien anzuwenden.

Im Jahr 2006 machte die Schweizerische Gesellschaft für Pädiatrie (SGP) den Vorschlag, aus praktischen Gründen die deutschen Wachstumskurven zur Bestimmung des Körperprofils zu verwenden [61], wobei Übergewicht altersabhängig als BMI >90 . Perzentil und Adipositas als BMI >97 . Perzentil festgelegt ist. Diese Kurven sind vergleichbar mit den internationalen Schwellenwerten der IOTF [18, 19] und erlauben deshalb eine gute Überleitung zur Klassifikation der WHO beim Erwachsenen. Zudem besteht für die deutschen Kurven ein EDV-basiertes Dokumentationsprogramm zur therapeutischen Qualitätssicherung (APV, www.a-p-v.de), das internatio-

nal anerkannt wird [36]. Die SGP schlägt deshalb vor, die alten Schweizer Kurven zur Bestimmung des Körperprofils nicht mehr zu verwenden [22, 77, 82], da ihre Schwellenwerte aufgrund der deutlichen Abweichung von den internationalen Schwellenwerten der IOFT [18, 19] keine geeignete Klassifikation der Kinder anhand ihres BMI erlauben [36].

Im Jahr 2011 schlug die Arbeitsgruppe «Wachstumskurven» des Kinderspitals Zürich [8] vor, die von der WHO 2007 definierten BMI-Kurven zu übernehmen [24, 25]. Wie bereits oben erwähnt, ist dort Übergewicht als BMI >90 . Perzentile, Adipositas als BMI >97 . Perzentile und extreme Adipositas als BMI $>99,5$. Perzentile definiert. Die Übernahme internationaler Normen ist zentral für die Festlegung eines landesspezifischen Körperprofils, das von einer allgemeingültigen Bevölkerungsnorm ausgeht [7].

Vor dem Hintergrund der zahlreichen BMI-basierten Klassifikationskriterien für das Körperprofil, die den Akteuren in der Schweiz zur Verfügung stehen, scheint es uns eminent wichtig, auf nationaler Ebene eine einheitliche Klassifikation einzuführen, um die Klassifikationskriterien für das Körperprofil bei Schweizer Kindern zu vereinheitlichen. Das Bundesamt für Gesundheit diskutiert aktuell mit verschiedenen Fachexperten eine Standardlösung für die Auswertung der Schweizerischen Gesundheitsbefragung. Dieser Standard wird vorzugsweise für alle Auswertungen der Schweizerischen Gesundheitsbefragung angewendet.

5 Zusammenfassung der Interviews

Im Anschluss folgt eine Zusammenfassung der Interviews, die mit den von Gesundheitsförderung Schweiz angegebenen Ärzten/Forschern geführt wurden.

1. Relevanz des BMI

Für die befragten Personen ist der BMI ein interessanter und sehr leicht anzuwendender Indikator für Übergewicht, der sich hervorragend für die klinische Praxis und experimentelle Studien eignet. Auf epidemiologischer Ebene ist er ein ausgezeichnete Indikator. Auf individueller Ebene könnte es jedoch gefährlich sein, ihn als Goldstandard zu verwenden, da er interindividuelle Unterschiede unberücksichtigt lässt. Unter anderem ist er mit einem erheblichen Bias in Bezug auf die Einschätzung der Zusammensetzung der Körpermasse verbunden. Zudem sind die Zusammenhänge zwischen BMI und Komorbiditätsrisiko nicht eindeutig geklärt. Bei extremen BMI-Werten (über 32–35 oder unter 16) erweist sich die Schätzung der Körpermasse mittels BMI als relativ genau. Problematisch hingegen ist die «Grauzone» ($25 < \text{BMI} < 30 \text{ kg/m}^2$), in der die Schätzung der Körperfettmasse stark fehlerhaft sein kann.

Den Befragten zufolge handelt es sich beim Adipositas-Paradoxon³ um ein Scheinproblem, da es die übrigen Risikofaktoren, die sich auf die Gesundheit des Einzelnen auswirken, gänzlich ausser Acht lässt. Für die Bestimmung des Morbiditäts- und Mortalitätsrisikos des Einzelnen seien vor allem Fitness und Bewegungsmangel wichtig. Dies gilt umso mehr, als die wissenschaftliche Debatte über das Problem von der Bevölkerung falsch verstanden werden könnte.

Für epidemiologische Studien empfehlen die Befragten die Verwendung des BMI in Kombination mit dem Taillenumfang. Eine ausgezeichnete Ergänzung sei die Hautfaltenmessung, falls die Umstände dies erlauben. Anders als bei Erwachsenen hängt der BMI

bei Kindern nicht zwangsläufig mit dem Komorbiditäts- und Mortalitätsrisiko zusammen. Er ist jedoch ein Indikator für das Risiko einer späteren Adipositas und damit verbundener Gesundheitsprobleme. Nachdrücklich empfohlen wird die Verwendung des BMI in Verbindung mit Wachstumskurven. Allerdings ist die Methode, nach der in Abhängigkeit von den Wachstumskurven für beide Geschlechter Übergewicht als $\text{BMI} > 90.$ Perzentile und Adipositas als $\text{BMI} > 97.$ Perzentile festgelegt ist, nicht unumstritten. Die Festlegung der Schwellenwerte ist im Wesentlichen von der gewählten Wachstumskurve und ihrer Aussagekraft gegenüber der untersuchten Population abhängig sowie davon, wo und wann (vor oder nach dem Höhepunkt der «Adipositas-Epidemie») eine solche Kurve erstellt wurde.

2. Alternativen zum BMI für eine Evaluation der Körperzusammensetzung in Verbindung mit dem Risiko für Sekundärpathologien und Mortalität

Die am häufigsten als Alternative angeführten Messmethoden sind die Messung des Taillenumfangs, die Waist-hip ratio, die Hautfaltenmessung, die BIA und der «Body Adiposity Index» (BAI). Die Meinungen über den BAI gehen stark auseinander. Einer der Befragten meinte, er sei nicht aussagekräftig, da er keinen Messwert enthält, der wirklich mit der Körperfettmasse korreliert. Die Methoden zur direkten Bestimmung der Körperzusammensetzung hingegen sind zu teuer und zu aufwendig, um im Rahmen epidemiologischer Studien Anwendung finden zu können.

³ Adipositas-Paradoxon: Bei übergewichtigen Personen ($25 < \text{BMI} < 29,9$) ist die assoziierte Mortalität geringer als bei normalgewichtigen Personen ($18,5 < \text{BMI} < 24,9$).

**3. Empfehlungen an Gesundheitsförderung Schweiz
für die Evaluation der Körperzusammensetzung
(auf epidemiologischer Ebene)**

Laut Aussage der Experten ist der BMI auf epidemiologischer Ebene nach wie vor der beste Messwert, zumal er einen aussagekräftigen internationalen Vergleich erlaubt. Sie empfehlen Gesundheitsförderung Schweiz die Verwendung des BMI, wenn möglich ergänzt durch weitere Messungen, allen voran der des Taillenumfangs. Zudem sind sie optimistisch, dass es dank künftiger technologischer Entwicklungen in Zukunft leichter sein wird, Körperprofile exakter zu bestimmen.

6 Schlussfolgerungen

Diese kurze Literaturübersicht und die Interviews mit den Ärzten/Forschern in diesem Dokument zeigen, dass es heute noch keine universell akzeptierte Referenzmethode für die Messung der Körperfettmasse gibt, die hilft, das Körperprofil und seine verschiedenen Kategorien genau zu bestimmen: Untergewicht, Normalgewicht, Übergewicht und Adipositas. Alle Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung haben Einschränkungen, die mit dem zugrunde liegenden Messprinzip, ihrer Anwendung bei einer spezifischen Population (d.h. bei adipösen, alten oder kranken Patienten oder Kindern) oder ihrer Anwendung in der Praxis zusammenhängen.

Die Methoden zur direkten Messung der Körperfettmasse gelten aufgrund ihrer Messabweichung von nur 2–3% [15] als Referenzmethoden. Sie sind jedoch teuer und in ihrer Anwendung und Auswertung aufwendig, was den Einsatz dieser Techniken erschwert. Diese Methoden werden primär im klinischen Umfeld oder in kleinen klinischen Studien verwendet. Ihre Anwendung im Rahmen gross angelegter epidemiologischer Studien ist jedoch schwierig bzw. praktisch unmöglich. Bei diesen Studien kommen Methoden zur indirekten Messung der Körperzusammensetzung zum Einsatz, da sie unkomplizierter und in der Praxis schneller anwendbar sind. Allerdings beträgt die Messabweichung dieser Methoden bei der Bestimmung der Körperfettmasse 5–10% [15].

Unter den indirekten Methoden ist der BMI mit Sicherheit die meistverwendete. Dank der von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) erstellten Klassifikation ermöglicht er eine Einstufung der einzelnen Patienten nach Körperprofil und einen langfristigen Vergleich der Daten auf internationaler Ebene. Wie bereits zuvor in diesem Dokument erwähnt, ist der BMI kein reeller Messwert für die Körperfettmasse. Zudem sind die Zusammenhänge zwischen BMI und Komorbiditäts- bzw. Mortalitätsrisiko nicht eindeutig geklärt und variieren insbesondere bei BMI-Werten zwischen 20 und 30 (d.h. innerhalb der «Grauzone») aufgrund des Einflusses verschiedener

Faktoren (vorbestehende Krankheiten, Rauchen, Alter, Geschlecht, ethnische Zugehörigkeit und Ausmass der körperlichen Aktivität). Dennoch ist der BMI bei gross angelegten epidemiologischen Studien nach wie vor der am einfachsten anzuwendende Messwert. Für eine genauere Bestimmung des Körperprofils einzelner Patienten muss der BMI jedoch durch die Messung des Taillenumfangs ergänzt werden. Im klinischen Umfeld dient die Messung des BMI bei Einzelpersonen nur als erster Schritt hin zu einer Bestimmung des Körperprofils, an dem sich die Evaluation und die weitere Behandlung des Patienten orientieren können. Die Messung muss anschliessend mit einer oder mehreren weiteren (direkten oder indirekten) Messungen der Körperzusammensetzung kombiniert oder ergänzt werden, um Fehler bei der Klassifikation des Patienten zu vermeiden und seine Behandlung zu verbessern. Mit Blick auf die Zukunft wird es von wesentlicher Bedeutung sein, Messwerte und neue technologische Entwicklungen, die eine genauere Bestimmung der Körperfettmasse erlauben, zu kombinieren, um die Evaluation des Körperprofils des einzelnen Patienten vor allem auf epidemiologischer Ebene, aber auch in der individuellen Diagnostik zu optimieren.

7 Literatur

- [1] Balkau B, Deanfield JE, Despres JP, Bassand JP, Fox KA, Smith SC, Jr., Barter P, Tan CE, Van Gaal L, Wittchen HU, Massien C, and Haffner SM. International Day for the Evaluation of Abdominal Obesity (IDEA): a study of waist circumference, cardiovascular disease, and diabetes mellitus in 168 000 primary care patients in 63 countries. *Circulation* 116: 1942–1951, 2007.
- [2] Barlow SE, and Dietz WH. Obesity evaluation and treatment: Expert Committee recommendations. The Maternal and Child Health Bureau, Health Resources and Services Administration and the Department of Health and Human Services. *Pediatrics* 102: E29, 1998.
- [3] Bellizzi MC, and Dietz WH. Workshop on childhood obesity: summary of the discussion. *Am J Clin Nutr* 70: 173S–175S, 1999.
- [4] Bannasar-Veny M, Lopez-Gonzalez AA, Tauler P, Cespedes ML, Vicente-Herrero T, Yañez A, Tomas-Salva M, and Aguilo A. Body Adiposity Index and Cardiovascular Health Risk Factors in Caucasians: A Comparison with the Body Mass Index and Others. *PLoS ONE* 8: e63999, 2013.
- [5] Bergman RN, Stefanovski D, Buchanan TA, Sumner AE, Reynolds JC, Sebring NG, Xiang AH, and Watanabe RM. A better index of body adiposity. *Obesity (Silver Spring)* 19: 1083–1089, 2011.
- [6] Berrington de Gonzalez A, Hartge P, Cerhan JR, Flint AJ, Hannan L, MacInnis RJ, Moore SC, Tobias GS, Anton-Culver H, Freeman LB, Beeson WL, Clipp SL, English DR, Folsom AR, Freedman DM, Giles G, Hakansson N, Henderson KD, Hoffman-Bolton J, Hoppin JA, Koenig KL, Lee I-M, Linet MS, Park Y, Pocobelli G, Schatzkin A, Sesso HD, Weiderpass E, Willcox BJ, Wolk A, Zeleniuch-Jacquotte A, Willett WC, and Thun MJ. Body-Mass Index and Mortality among 1,46 Million White Adults. *N Engl J Med* 363: 2211–2219, 2010.
- [7] Bovet P, Chiolerio A, and Paccaud F. Utilité d'inclure des critères de validité externe dans des normes nationales pour la définition de la surcharge pondérale de l'enfant et de l'adolescent. *Paediatrica* 17: 19–24, 2006.
- [8] Braegger C, Jenni O, Konrad D, and Molinari L. Nouvelles courbes de croissance pour la Suisse. *Paediatrica* 22: 9–11, 2011.
- [9] Bray GA. Pathophysiology of obesity. *Am J Clin Nutr* 55: 488S–494S, 1992.
- [10] Brozek J, Grande F, Anderson JT, and Keys A. Densitometric Analysis of Body Composition: Revision of Some Quantitative Assumptions. *Ann N Y Acad Sci* 110: 113–140, 1963.
- [11] Calle EE, Rodriguez C, Walker-Thurmond K, and Thun MJ. Overweight, obesity, and mortality from cancer in a prospectively studied cohort of U.S. adults. *N Engl J Med* 348: 1625–1638, 2003.
- [12] Calle EE, Thun MJ, Petrelli JM, Rodriguez C, and Heath CW. Body-mass index and mortality in a prospective cohort of U.S. adults. *N Engl J Med* 341: 1097–1105, 1999.
- [13] Carnethon MR, De Chavez PJ, Biggs ML, Lewis CE, Pankow JS, Bertoni AG, Golden SH, Liu K, Mukamal KJ, Campbell-Jenkins B, and Dyer AR. Association of weight status with mortality in adults with incident diabetes. *JAMA* 308: 581–590, 2012.
- [14] Cauet C, Jacobi D, and Barbe P. Composition corporelle. In: *Médecine et chirurgie de l'obésité*, edited by Basdevant A. Paris: Lavoisier S.A.S., 2011, p. 401–409.
- [15] Chumlea WM, and Guo SS. Assessment and prevalence of obesity: application of new methods to a major problem. *Endocrine* 13: 135–142, 2000.
- [16] Cohn SH, Vaswani AN, Yasumura S, Yuen K, and Ellis KJ. Improved models for determination of body fat by in vivo neutron activation. *Am J Clin Nutr* 40: 255–259, 1984.

- [17] Cole TJ, Bellizzi MC, Flegal KM, and Dietz WH. Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey. *BMJ* 320: 1240–1243, 2000.
- [18] Cole TJ, Flegal KM, Nicholls D, and Jackson AA. Body mass index cut offs to define thinness in children and adolescents: international survey. *BMJ* 335: 194, 2007.
- [19] Cole TJ, Freeman JV, and Preece MA. Body mass index reference curves for the UK, 1990. *Arch Dis Child* 73: 25–29, 1995.
- [20] Collaboration Prospective Studies. Body-mass index and cause-specific mortality in 900 000 adults: collaborative analyses of 57 prospective studies. *Lancet* 373: 1083–1096, 2009.
- [21] Consultation WHOE. Appropriate body-mass index for Asian populations and its implications for policy and intervention strategies. *Lancet* 363: 157–163, 2004.
- [22] Dayer-Métroz M, Mermillod B, Pampallona S, and Schopfer C. Croissance somatique de 2 à 18 ans – courbes genevoises 1995 – étude transversale. *Service Santé de la Jeunesse, Genève* 1995.
- [23] De Lorenzo A, Andreoli A, Matthie J, and Withers P. Predicting body cell mass with bioimpedance by using theoretical methods: a technological review. *J Appl Physiol* 82: 1542–1558, 1997.
- [24] de Onis M, Onyango AW, Borghi E, Garza C, Yang H, and Group WHOMGRS. Comparison of the World Health Organization (WHO) Child Growth Standards and the National Center for Health Statistics/WHO international growth reference: implications for child health programmes. *Public Health Nutr* 9: 942–947, 2006.
- [25] de Onis M, Onyango AW, Borghi E, Siyam A, Nishida C, and Siekmann J. Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents. *Bull World Health Organ* 85: 660–667, 2007.
- [26] Dempster P, and Aitkens S. A new air displacement method for the determination of human body composition. *Med Sci Sports Exerc* 27: 1692–1697, 1995.
- [27] Despres JP, Lemieux I, and Prud'homme D. Treatment of obesity: need to focus on high risk abdominally obese patients. *BMJ* 322: 716–720, 2001.
- [28] Dioum A. Validation de méthodes de mesure de la composition corporelle utilisable sur le terrain chez les Africaines: Application dans les études épidémiologiques en milieu rural et urbain. In: *Faculté des Sciences et Techniques*. Dakar: Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 2005, p. 140.
- [29] Doehner W, Clark A, and Anker SD. The obesity paradox: weighing the benefit. *Eur Heart J* 31: 146–148, 2010.
- [30] Dullloo AG, Jacquet J, Solinas G, Montani JP, and Schutz Y. Body composition phenotypes in pathways to obesity and the metabolic syndrome. *Int J Obes (Lond)* 34 Suppl 2: S4–17, 2010.
- [31] Duren DL, Sherwood RJ, Czerwinski SA, Lee M, Choh AC, Siervogel RM, and Cameron Chumlea W. Body composition methods: comparisons and interpretation. *J Diabetes Sci Technol* 2: 1139–1146, 2008.
- [32] Durnin JV, and Womersley J. Total body fat, calculated from body density, and its relationship to skin-fold thickness in 571 people aged 12–72 years. *Proc Nutr Soc* 32: 45A, 1973.
- [33] El Aarbaoui T, Samouda H, Zitouni D, di Pompeo C, de Beaufort C, Trincaretto F, Mormentyn A, Hubert H, Lemdani M, and Guinhouya BC. Does the body adiposity index (BAI) apply to paediatric populations? *Ann Hum Biol* 2013.
- [34] Ellis KJ. Human body composition: in vivo methods. *Physiol Rev* 80: 649–680, 2000.
- [35] Faeh D, Marques-Vidal P, Chiolerio A, and Bopp M. Obesity in Switzerland: do estimates depend on how body mass index has been assessed? *Swiss Med Wkly* 138: 204–210, 2008.
- [36] Farpour-Lambert N, L'allemand D, and Laimbacher J. Définition, diagnostic et indications thérapeutiques de la surcharge pondérale de l'enfant et de l'adolescent. *Paediatr* 17: 19–24, 2006.
- [37] Flegal KM, Kit BK, and Graubard BI. Overweight, obesity, and all-cause mortality-- reply. *JAMA* 309: 1681–1682, 2013.

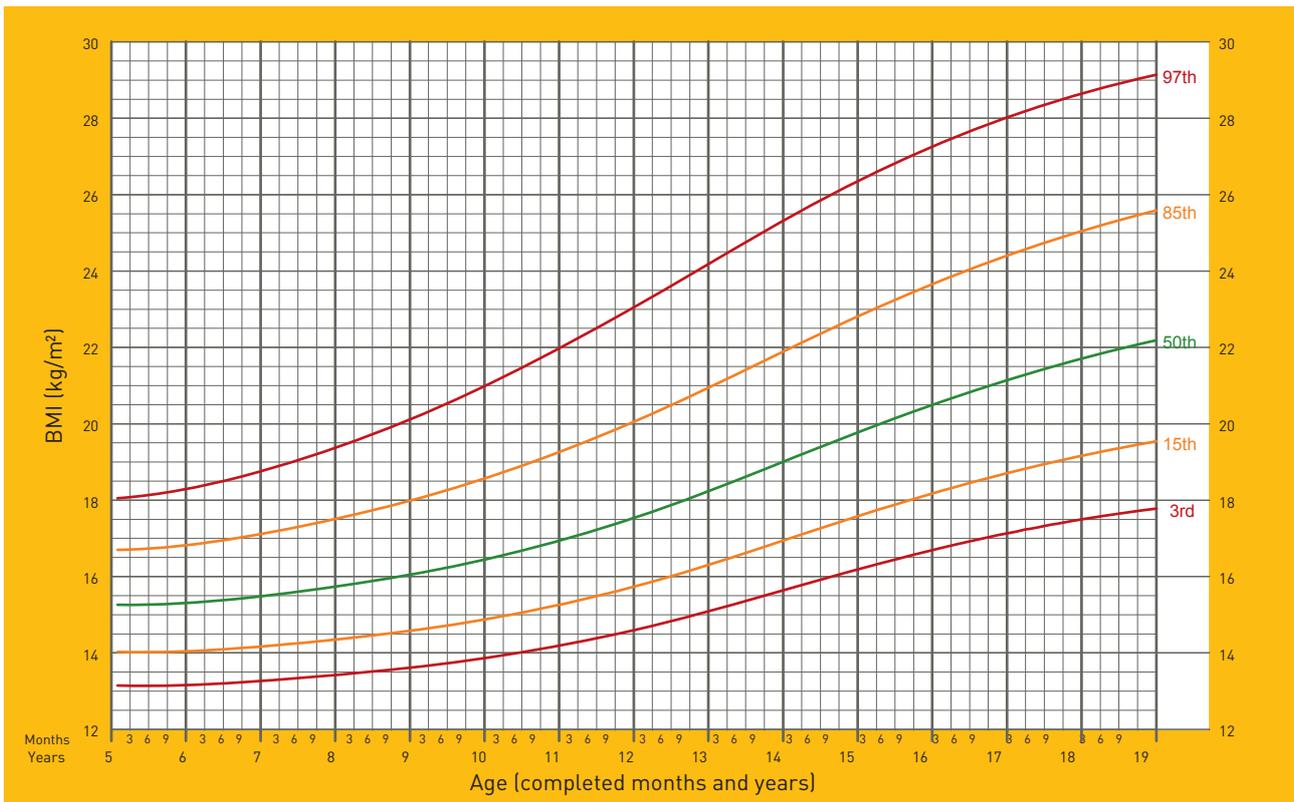
- [38] Flegal KM, Kit BK, Orpana H, and Graubard BI. Association of all-cause mortality with overweight and obesity using standard body mass index categories: a systematic review and meta-analysis. *JAMA* 309: 71–82, 2013.
- [39] Forbes GB, and Hursh JB. Age and Sex Trends in Lean Body Mass Calculated from K40 Measurements: With a Note on the Theoretical Basis for the Procedure. *Ann N Y Acad Sci* 110: 255–263, 1963.
- [40] Freedman DS, Ogden CL, Goodman AB, and Blanck HM. Skinfolds and coronary heart disease risk factors are more strongly associated with BMI than with the body adiposity index. *Obesity (Silver Spring)* 21: E64–E70, 2013.
- [41] Freedman DS, Thornton JC, Pi-Sunyer FX, Heymsfield SB, Wang J, Pierson J, Richard N, Blanck HM, and Gallagher D. The Body Adiposity Index (Hip Circumference ÷ Height 1.5) Is Not a More Accurate Measure of Adiposity Than Is BMI, Waist Circumference, or Hip Circumference. *Obesity (Silver Spring)* 20: 2438–2444, 2012.
- [42] Fujimoto WY, Newell-Morris LL, Grote M, Bergstrom RW, and Shuman WP. Visceral fat obesity and morbidity: NIDDM and atherogenic risk in Japanese American men and women. *Int J Obes* 15 Suppl 2: 41–44, 1991.
- [43] Fuller NJ, and Elia M. Potential use of bioelectrical impedance of the ‘whole body’ and of body segments for the assessment of body composition: comparison with densitometry and anthropometry. *Eur J Clin Nutr* 43: 779–791, 1989.
- [44] Gallagher D, Visser M, Sepulveda D, Pierson RN, Harris T, and Heymsfield SB. How useful is body mass index for comparison of body fatness across age, sex, and ethnic groups? *Am J Epidemiol* 143: 228–239, 1996.
- [45] Geliebter A, Atalayer D, Flancbaum L, and Gibson CD. Comparison of Body Adiposity Index (BAI) and BMI with Estimations of % Body Fat in Clinically Severe Obese Women. *Obesity (Silver Spring)* 2012.
- [46] Guilherme A, Virbasius JV, Puri V, and Czech MP. Adipocyte dysfunctions linking obesity to insulin resistance and type 2 diabetes. *Nat Rev Mol Cell Biol* 9: 367–377, 2008.
- [47] Guo SS, Roche AF, Chumlea WC, Gardner JD, and Siervogel RM. The predictive value of childhood body mass index values for overweight at age 35 y. *Am J Clin Nutr* 59: 810–819, 1994.
- [48] Han TS, McNeill G, Seidell JC, and Lean ME. Predicting intra-abdominal fatness from anthropometric measures: the influence of stature. *Int J Obes Relat Metab Disord* 21: 587–593, 1997.
- [49] Han TS, Sattar N, and Lean M. ABC of obesity. Assessment of obesity and its clinical implications. *BMJ* 333: 695–698, 2006.
- [50] Han TS, Seidell JC, Currall JE, Morrison CE, Deurenberg P, and Lean ME. The influences of height and age on waist circumference as an index of adiposity in adults. *Int J Obes Relat Metab Disord* 21: 83–89, 1997.
- [51] Hattori A, and Sturm R. The obesity epidemic and changes in self-report biases in BMI. *Obesity (Silver Spring)* n/a-n/a, 2013.
- [52] Heymsfield SB, and Cefalu WT. Does body mass index adequately convey a patient’s mortality risk? *JAMA* 309: 87–88, 2013.
- [53] Hoffer EC, Meador CK, and Simpson DC. Correlation of whole-body impedance with total body water volume. *J Appl Physiol* 27: 531–534, 1969.
- [54] Hughes V. The big fat truth. *Nature* 497: 428–430, 2013.
- [55] Jackson AS, Pollock ML, and Gettman LR. Intertester reliability of selected skinfold and circumference measurements and percent fat estimates. *Res Q* 49: 546–551, 1978.
- [56] Jackson AS, Stanforth PR, Gagnon J, Rankinen T, Leon AS, Rao DC, Skinner JS, Bouchard C, and Wilmore JH. The effect of sex, age and race on estimating percentage body fat from body mass index: The Heritage Family Study. *Int J Obes Relat Metab Disord* 26: 789–796, 2002.

- [57] Jackson CL, Wang N-Y, Yeh H-C, Szklo M, Dray-Spira R, and Brancati FL. Body-mass index and mortality risk in US blacks compared to whites. *Obesity (Silver Spring)* n/a-n/a, 2013.
- [58] Jensen MD. Role of body fat distribution and the metabolic complications of obesity. *J Clin Endocrinol Metab* 93: S57–63, 2008.
- [59] Jerant A, and Franks P. Body Mass Index, Diabetes, Hypertension, and Short-Term Mortality: A Population-Based Observational Study, 2000–2006. *J Am Board Fam Med* 25: 422–431, 2012.
- [60] Keys A, Fidanza F, Karvonen MJ, Kimura N, and Taylor HL. Indices of relative weight and obesity. *J Chronic Dis* 25: 329–343, 1972.
- [61] Kromeyer-Hauschild K, Wabitsch M, Kunze D, Geller F, Geiß HC, Hesse V, von Hippel A, Jaeger U, Johnsen D, Korte W, Menner K, Müller G, Müller JM, Niemann-Pilatus A, Remer T, Schaefer F, Wittchen HU, Zabransky S, Zellner K, Ziegler A, and Hebebrand J. Perzentile für den Body-Mass-Index für das Kindes- und Jugendalter unter Heranziehung verschiedener deutscher Stichproben. *Monatsschrift Kinderheilkunde* 149: 807–818, 2001.
- [62] Kuczmarski RJ, and Flegal KM. Criteria for definition of overweight in transition: background and recommendations for the United States. *Am J Clin Nutr* 72: 1074–1081, 2000.
- [63] Kuczmarski RJ, Ogden CL, Grummer-Strawn LM, Flegal KM, Guo SS, Wei R, Mei Z, Curtin LR, Roche AF, and Johnson CL. CDC growth charts: United States. *Adv Data* 1–27, 2000.
- [64] Lainscak M, von Haehling S, Doehner W, and Anker SD. The obesity paradox in chronic disease: facts and numbers. *J Cachexia Sarcopenia Muscle* 3: 1–4, 2012.
- [65] Lean ME, Han TS, and Seidell JC. Impairment of health and quality of life in people with large waist circumference. *Lancet* 351: 853–856, 1998.
- [66] López AA, Céspedes ML, Vicente T, Tomas M, Bennasar-Veny M, Tauler P, and Aguilo A. Body Adiposity Index Utilization in a Spanish Mediterranean Population: Comparison with the Body Mass Index. *PLoS ONE* 7: e35281, 2012.
- [67] Lukaski HC, Johnson PE, Bolonchuk WW, and Lykken GI. Assessment of fat-free mass using bio-electrical impedance measurements of the human body. *Am J Clin Nutr* 41: 810–817, 1985.
- [68] Manson JE, Colditz GA, Stampfer MJ, Willett WC, Rosner B, Monson RR, Speizer FE, and Hennekens CH. A prospective study of obesity and risk of coronary heart disease in women. *N Engl J Med* 322: 882–889, 1990.
- [69] Meeuwssen S, Horgan GW, and Elia M. The relationship between BMI and percent body fat, measured by bioelectrical impedance, in a large adult sample is curvilinear and influenced by age and sex. *Clin Nutr* 29: 560–566, 2010.
- [70] Melmer A, Lamina C, Tschoner A, Röss C, Kaser S, Laimer M, Sandhofer A, Paulweber B, and Ebenbichler CF. Body Adiposity Index and Other Indexes of Body Composition in the SAPHIR Study: Association With Cardiovascular Risk Factors. *Obesity (Silver Spring)* 2012.
- [71] Metropolitan Life Insurance Company. Metropolitan height and weight tables. *Stat Bull Metropol Life Insur Co* 64: 1–19, 1983.
- [72] Metropolitan Life Insurance Company. New weight standards for men and women. *Stat Bull Metropol Life Insur Co* 40: 1–4, 1959.
- [73] Moliner-Urdiales D, Artero EG, LEE D-C, España-Romero V, Sui X, and Blair SN. Body adiposity index and all-cause and cardiovascular disease mortality in men. *Obesity (Silver Spring)* n/a-n/a, 2013.
- [74] National Institutes of Health. Clinical Guidelines on the Identification, Evaluation, and Treatment of Overweight and Obesity in Adults. The Evidence Report. *Obes Res* 6 Suppl 2: 51S–209S, 1998.
- [75] Peppler WW, and Mazess RB. Total body bone mineral and lean body mass by dual-photon absorptiometry. I. Theory and measurement procedure. *Calcif Tissue Int* 33: 353–359, 1981.
- [76] Power C, Lake JK, and Cole TJ. Measurement and long-term health risks of child and adolescent fatness. *Int J Obes Relat Metab Disord* 21: 507–526, 1997.

- [77] Prader A, Largo RH, Molinari L, and Issler C. Physical growth of Swiss children from birth to 20 years of age. First Zurich longitudinal study of growth and development. *Helvetica paediatrica acta Supplementum* 52: 1–125, 1989.
- [78] Quélet L. *Physique sociale ou essai sur le développement des facultés de l'homme*. Bruxelles: 1869.
- [79] Reeves GK, Pirie K, Beral V, Green J, Spencer E, Bull D. Cancer incidence and mortality in relation to body mass index in the Million Women Study: cohort study. *BMJ* 335: 1134, 2007.
- [80] Ritz P, Johnson PG, and Coward WA. Measurements of 2H and 18O in body water: analytical considerations and physiological implications. *Br J Nutr* 72: 3–12, 1994.
- [81] Roche AF, Sievogel RM, Chumlea WC, and Webb P. Grading body fatness from limited anthropometric data. *Am J Clin Nutr* 34: 2831–2838, 1981.
- [82] Rolland-Cachera MF, Deheeger M, Bellisle F, Sempe M, Guilloud-Bataille M, and Patois E. Adiposity rebound in children: a simple indicator for predicting obesity. *Am J Clin Nutr* 39: 129–135, 1984.
- [83] Rolland-Cachera MF, Sempe M, Guilloud-Bataille M, Patois E, Pequignot-Guggenbuhl F, and Fautrad V. Adiposity indices in children. *Am J Clin Nutr* 36: 178–184, 1982.
- [84] Romero-Corral A, Montori VM, Somers VK, Korinek J, Thomas RJ, Allison TG, Mookadam F, and Lopez-Jimenez F. Association of bodyweight with total mortality and with cardiovascular events in coronary artery disease: a systematic review of cohort studies. *Lancet* 368: 666–678, 2006.
- [85] Rowland ML. Self-reported weight and height. *Am J Clin Nutr* 52: 1125–1133, 1990.
- [86] Schneider HJ, Friedrich N, Klotsche J, Pieper L, Nauck M, John U, Dorr M, Felix S, Lehnert H, Pittrow D, Silber S, Volzke H, Stalla GK, Wallaschofski H, and Wittchen HU. The predictive value of different measures of obesity for incident cardiovascular events and mortality. *J Clin Endocrinol Metab* 95: 1777–1785, 2010.
- [87] Schneider HJ, Glaesmer H, Klotsche J, Bohler S, Lehnert H, Zeiher AM, Marz W, Pittrow D, Stalla GK, Wittchen HU, and Group DS. Accuracy of anthropometric indicators of obesity to predict cardiovascular risk. *J Clin Endocrinol Metab* 92: 589–594, 2007.
- [88] Schoeller DA, van Santen E, Peterson DW, Dietz W, Jaspan J, and Klein PD. Total body water measurement in humans with 18O and 2H labeled water. *Am J Clin Nutr* 33: 2686–2693, 1980.
- [89] Schutz Y, Sarafian D, Miles JL, Montani JP, and Dulloo AG. Non-contact assessment of waist circumference: will tape measurements become progressively obsolete? *Eur J Clin Nutr* 66: 269–272, 2012.
- [90] Seidell JC, Oosterlee A, Thijssen MA, Burema J, Deurenberg P, Hautvast JG, and Ruijs JH. Assessment of intra-abdominal and subcutaneous abdominal fat: relation between anthropometry and computed tomography. *Am J Clin Nutr* 45: 7–13, 1987.
- [91] Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. In: *Techniques for Measuring Body Composition*, edited by Brozek J, and Henschel A. Washington, DC: Natl. Acad. Sci. USA, 1961, p. 223–224.
- [92] Siri WE. The gross composition of the body. In: *Advances in Biological and Medical Physics*, edited by Tobias CA, and Lawrence JH. New York: Academic, 1956, p. 239–280.
- [93] Sjostrom L. A computer-tomography based multicompartiment body composition technique and anthropometric predictions of lean body mass, total and subcutaneous adipose tissue. *Int J Obes* 15 Suppl 2: 19–30, 1991.
- [94] Skelton NK, and Skelton WP, 3rd. Medical implications of obesity. Losing pounds, gaining years. *Postgrad Med* 92: 151–156, 159–162, 1992.
- [95] Slaughter MH, Lohman TG, Boileau RA, Horswill CA, Stillman RJ, Van Loan MD, and Bembien DA. Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Hum Biol* 60: 709–723, 1988.

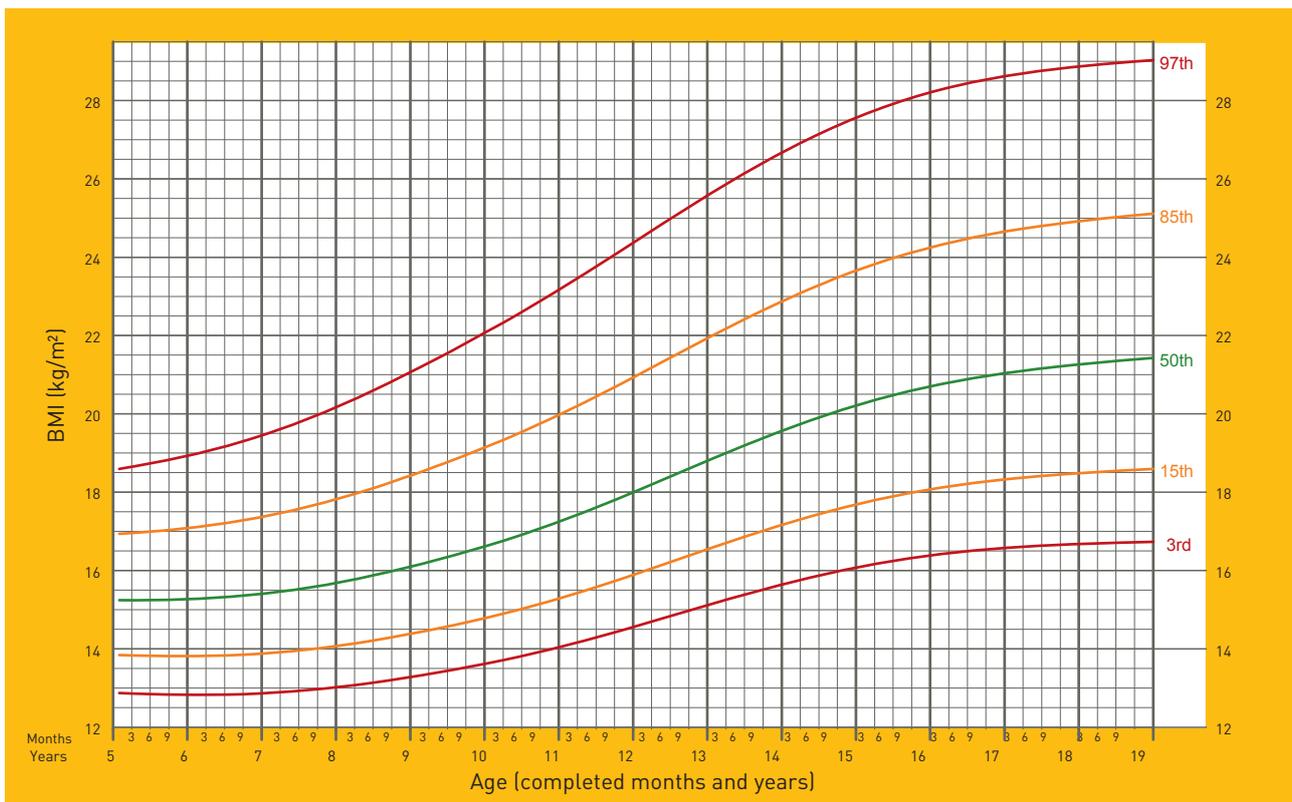
- [96] Snijder MB, Nicolaou M, van Valkengoed IGM, Brewster LM, and Stronks K. Newly Proposed Body Adiposity Index (BAI) by Bergman et al. Is Not Strongly Related to Cardiovascular Health Risk. *Obesity (Silver Spring)* 20: 1138–1139, 2012.
- [97] Snijder MB, van Dam RM, Visser M, and Seidell JC. What aspects of body fat are particularly hazardous and how do we measure them? *Int J Epidemiol* 35: 83–92, 2006.
- [98] Sobol W, Rossner S, Hinson B, Hiltbrandt E, Karstaedt N, Santago P, Wolfman N, Hagaman A, and Crouse JR, 3rd. Evaluation of a new magnetic resonance imaging method for quantitating adipose tissue areas. *Int J Obes* 15: 589–599, 1991.
- [99] Song YM, Sung J, Davey Smith G, and Ebrahim S. Body mass index and ischemic and hemorrhagic stroke: a prospective study in Korean men. *Stroke* 35: 831–836, 2004.
- [100] Stewart AW, Jackson RT, Ford MA, and Beaglehole R. Underestimation of relative weight by use of self-reported height and weight. *Am J Epidemiol* 125: 122–126, 1987.
- [101] Stommel M, and Schoenborn CA. Accuracy and usefulness of BMI measures based on self-reported weight and height: findings from the NHANES & NHIS 2001–2006. *BMC Public Health* 9: 421, 2009.
- [102] Vanitallie TB, Yang MU, Heymsfield SB, Funk RC, and Boileau RA. Height-normalized indices of the body's fat-free mass and fat mass: potentially useful indicators of nutritional status. *Am J Clin Nutr* 52: 953–959, 1990.
- [103] Vina J, Borrás C, and Gomez-Cabrera MC. Overweight, obesity, and all-cause mortality. *JAMA* 309: 1679, 2013.
- [104] Vinknes KJ, Elshorbagy AK, Drevon CA, Gjesdal CG, Tell GS, Nygard O, Vollset SE, and Refsum H. Evaluation of the Body Adiposity Index in a Caucasian Population: The Hordaland Health Study. *Am J Epidemiol* 177: 586–592, 2013.
- [105] Weeraratna TP, Lekamwasam S, and Rodrigo M. Prediction of total and visceral fat contents using anthropometric measures of adiposity in women. *Ceylon Med J* 53: 128–132, 2008.
- [106] World Health Organization. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation. *World Health Organ Tech Rep Ser* 894: i–xii, 1–253, 2000.
- [107] World Health Organization. Report of a WHO consultation on obesity Geneva: World Health Organization, 1998.
- [108] Zhang C, Rexrode KM, van Dam RM, Li TY, and Hu FB. Abdominal obesity and the risk of all-cause, cardiovascular, and cancer mortality: sixteen years of follow-up in US women. *Circulation* 117: 1658–1667, 2008.
- [109] Zimmermann MB, Gubeli C, Puntener C, and Molinari L. Detection of overweight and obesity in a national sample of 6–12-y-old Swiss children: accuracy and validity of reference values for body mass index from the US Centers for Disease Control and Prevention and the International Obesity Task Force. *Am J Clin Nutr* 79: 838–843, 2004.
- [110] Zimmermann MB, Gubeli C, Puntener C, and Molinari L. Overweight and obesity in 6–12 year old children in Switzerland. *Swiss Med Wkly* 134: 523–528, 2004.

Anhang I: Body-Mass-Index (BMI) nach Alter (Jungen 5–19 Jahre)



2007 WHO Reference

Anhang II: Body-Mass-Index (BMI) nach Alter (Mädchen 5–19 Jahre)



2007 WHO Reference

Anhang III: Fragen für die Interviews auf Französisch

Validité et pertinence de l'IMC comme indice de surpoids et de santé au niveau individuel ou épidémiologique

1. *Pertinence de l'IMC*

- 1.1 A votre avis, quelles sont la pertinence et les limites de l'IMC pour évaluer la composition corporelle en relation avec le risque de développement de pathologies cardiovasculaires et le risque de mortalité dans les différentes catégories de poids corporel?
- 1.2 Dans votre pratique clinique, utilisez-vous l'IMC?
- 1.3 Utilisez-vous l'IMC en association avec d'autres méthodes de mesure de la composition corporelle?
- 1.4 Qu'est-ce que vous pensez de la classification de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) pour définir les différentes catégories de poids corporel?
- 1.5 Qu'est-ce que vous pensez du débat concernant le risque de mortalité, l'IMC et l'*obesity paradox* (Hughes, Nature 2013: Flegal vs Willett)?
- 1.6 Toujours concernant le débat sur l'*obesity paradox*, la science doit-elle communiquer uniquement ses résultats expérimentaux ou doit-elle s'inquiéter de la répercussion que ces résultats pourraient avoir sur la société [p. ex., récupération du message de Flegal et al. (JAMA, 2013) par l'industrie alimentaire afin de minimiser le problème de l'obésité et ses implications sur la santé de l'individu; Hughes (Nature, 2013): *the science needs «[...] to follow the data just like the yellow brick road, to the truth.»*]?
- 1.7 Dans votre pratique clinique, utilisez-vous l'IMC (percentiles et courbes de croissance) chez l'enfant obèse?
- 1.8 Utilisez-vous l'IMC en association avec d'autres méthodes de mesure de la composition corporelle chez l'enfant?
- 1.9 Les limites de l'IMC chez l'enfant sont-elles les mêmes que chez l'adulte?

2. *Méthodes de mesure alternatives à l'IMC pour l'évaluation de la composition corporelle en relation avec le risque de développement des pathologies secondaires et de mortalité*

- 2.1 Quelles sont les méthodes alternatives à l'IMC?
- 2.2 Qu'est-ce que vous pensez de la mesure du tour de taille en comparaison avec l'IMC (Han et al., BMJ 2006)? Quelle est sa réelle utilisation chez le sujet obèse et extrêmement obèse?
- 2.3 Qu'est-ce que vous pensez du rapport «tour de taille sur tour des hanches» en comparaison avec l'IMC?
- 2.4 Pourriez-vous nous donner votre avis sur l'intérêt/les avantages de l'utilisation du tour de taille et du *Body Adiposity Index* [BAI = ((tour de taille) / ((taille)^{1.5}) - 18); Bergman et al., Obesity 2011] en comparaison avec l'IMC?

3. *Recommandations pour Promotion Santé Suisse pour évaluer la composition corporelle (au niveau épidémiologique)*

- 3.1 Quelles sont les recommandations suisses et leurs différences par rapport aux recommandations internationales de l'OMS?
- 3.2 Quelles méthodes de mesure recommanderiez-vous pour évaluer la composition corporelle au niveau individuel et au niveau épidémiologique pour Promotion Santé Suisse?
- 3.3 Selon vous, quelles seront les évolutions futures dans l'évaluation de la composition de la masse corporelle au niveau individuel et au niveau épidémiologique?
- 3.4 Dans le futur, y aura-t-il la possibilité de pouvoir utiliser sur une plus grande échelle, pour des études épidémiologiques, une mesure directe de la composition corporelle (ou l'IMC sera-t-il toujours la mesure la plus pragmatique)? Si oui, laquelle?

Anhang IV: Fragen für die Interviews auf Englisch

Validity and relevance of body mass index (BMI) as an index of overweight and health at individual and epidemiological level

1. *Relevance of BMI*

- 1.1 In your opinion, what are the relevance and limits of BMI to assess the body mass composition with respect to the risks factors, diseases (e. g. type 2 diabetes mellitus, cardiovascular disease, hypertension, and cancer) and mortality risks associated with the classification of body fatness based on BMI (i. e. BMI categories)?
- 1.2 Do you use the assessment of BMI in your clinical activity (if any)?
- 1.3 Do you use BMI associated with other assessments of body mass composition?
- 1.4 What do you think about the classification of body fatness based on BMI established by the World Health Organization (WHO)?
- 1.5 What do you think about the *obesity paradox* (Hughes, Nature 2013: Flegal vs Willett) and the debate concerning the link between BMI and mortality risk?
- 1.6 Always concerning the debate on *obesity paradox*, what do you think about the sentence quoted by Hughes (Nature, 2013): the science needs “[...] to follow the data just like the yellow brick road, to the truth.”?
- 1.7 Do you use the assessment of BMI in obese children in your clinical activity (if any)?
- 1.8 Do you use BMI associated with other assessments of body mass composition in (obese) children?
- 1.9 Do you think that the limits of BMI in children are the same as those in adults?

2. *Alternative assessments to BMI to evaluate body mass composition with respect to the risk factors, diseases and mortality risks associated with the classification of body fatness based on BMI*

- 2.1 What are the alternative assessments to BMI?
- 2.2 What do you think about the measurement of the waist circumference with respect to BMI (Han et al., BMJ 2006)? What is the actual use in obese and massively obese individuals?
- 2.3 What do you think about the “waist-to-hip ratio” in comparison with BMI?
- 2.4 May you give me your opinion on the advantages of using the waist circumference and the Body Adiposity Index [$BAI = ((\text{hip circumference}) / ((\text{height})^{1.5}) - 18)$; Bergman et al., Obesity 2011]?

3. *Recommendations for “Promotion Santé Suisse” to assess the body mass composition in the epidemiological evaluations*

- 3.1 What are the Swiss recommendations and their differences compared with the international recommendations of WHO?
- 3.2 What are the assessments that you would recommend to “Promotion Santé Suisse” to assess the body mass composition at individual and epidemiological level?
- 3.3 In your opinion, what are the future evolutions/innovations concerning the assessment of the body mass composition at individual and epidemiological level?
- 3.4 In the future, will there be a possible assessment of the body mass composition in the epidemiological studies including a large cohort of individuals (or will BMI always be the most pragmatic and realistic solution/assessment)?

Dufourstrasse 30, Postfach 311, CH-3000 Bern 6
Tel. +41 31 350 04 04, Fax +41 31 368 17 00
office.bern@promotionsante.ch

Avenue de la Gare 52, CH-1003 Lausanne
Tél. +41 21 345 15 15, fax +41 21 345 15 45
office.lausanne@promotionsante.ch

www.gesundheitsfoerderung.ch
www.promotionsante.ch
www.promozionesalute.ch