

Der Einfluss der Faktoren Geschlecht und Adipositas auf die inhibitorische Kontrolle

**Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
Dr. med.**

**an der Medizinischen Fakultät
der Universität Leipzig**

eingereicht von: Christoph Mühlberg

Geburtsdatum / Geburtsort: 10.09.1990 / Leipzig

angefertigt an / in: Max - Planck - Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften,
Leipzig

Betreuer: Prof. Dr. Arno Villringer
Prof. Dr. Jane Neumann

Beschluss über die Verleihung des Doktorgrades vom: 21.08.2018

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Adipositas - eine Pandemie	3
1.2	Essverhalten - eine bekannte Ursache für Adipositas	3
1.3	Impulsivität - ein möglicher Risikofaktor für Adipositas	4
1.4	Impulsivität und Essverhalten	5
1.5	Die inhibitorische Kontrolle und ihre Bestimmung beim Menschen	6
1.6	Inhibitorische Kontrolle und Adipositas	7
1.7	Geschlechtsunterschiede im Essenskonnent allgemein und speziell in der Verarbeitung von Essensbildern	9
1.8	Geschlechtsunterschiede in der inhibitorischen Kontrolle	11
1.9	Hypothesen	11
1.10	Methoden	12
2	Publikation	14
3	Zusammenfassung	29
4	Literaturverzeichnis	34
5	Anlagen	40
5.1	Spezifizierung des eigenständigen wissenschaftlichen Beitrags	40
5.2	Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit	41
5.3	Publikationen	42
5.4	Lebenslauf	43
5.5	Danksagung	45

1 Einleitung

1.1 Adipositas - eine Pandemie

Adipositas ist eine der größten gesundheitlichen Herausforderungen unserer Zeit. Im Jahr 2014 waren mehr als 1,9 Milliarden Menschen weltweit übergewichtig mit einem BMI über 25 kg/m² oder adipös mit einem BMI über 30 kg/m² (World Health Organization 2016). Damit hat sich die Zahl übergewichtiger Menschen in den letzten 40 Jahren verdoppelt. Weltweit betrachtet sind dabei mehr Frauen als Männer adipös, jedoch sind in den westlichen Industrienationen mehr Männer übergewichtig als Frauen (Kanter & Caballero 2012). Den geschlechtsspezifischen Unterschieden in der Entstehung und vor allem der Therapie von Adipositas wird jedoch bisher wenig Beachtung geschenkt.

Adipositas ist ein etablierter Risikofaktor für zahlreiche Erkrankungen wie Typ 2 Diabetes, Brustkrebs, Darmkrebs und verschiedene kardiovaskuläre Erkrankungen (Swinburn et al. 2011). Eine steigende Adipositasprävalenz ist jedoch nicht nur eine individuelle Bürde für die Betroffenen, sondern auch eine zunehmende Belastung für die Gesundheitssysteme der Welt (Dee et al. 2014; Lehnert et al. 2015). Eine wichtige Aufgabe der Medizin und der Gesellschaft sollte es daher sein, ein Fortschreiten der Pandemie Adipositas zu verhindern. Dafür ist es unter anderem notwendig, alle Faktoren zu identifizieren, die zur Entstehung und Aufrechterhaltung von starkem Übergewicht beitragen. Im Allgemeinen entsteht starke Gewichtszunahme durch erhöhte Kalorienzufuhr im Gegensatz zum Kalorienverbrauch während einer definierten Zeitspanne. Die Gründe für das weltweit ansteigende Phänomen Adipositas sind jedoch vielfältiger, komplexer und eng mit dem Lebensstil unserer heutigen Gesellschaft verbunden. Eine wichtige Rolle spielen dabei beispielsweise der technologische Fortschritt, vermehrt sitzende Tätigkeiten, ein Mangel an körperlicher Bewegung im Alltag, die ständige Verfügbarkeit von vergleichsweise preisgünstigen hochkalorischen Lebensmitteln und ein starker Einfluss der Lebensmittelindustrie mittels Marketing auf unsere Ernährungsgewohnheiten (Kanter & Caballero 2012; Swinburn et al. 2011; Vandenbroeck et al. 2007). Obwohl diese zahlreichen Risikofaktoren in den westlichen Industrienationen weit verbreitet sind, führen sie nicht bei jedem Menschen gleichermaßen zu starkem Übergewicht. Es kann daher angenommen werden, dass zusätzliche individuelle Faktoren, wie die genetische Ausstattung, Unterschiede im Essverhalten und das Versagen von kognitiven Kontrollmechanismen vor allem gegenüber Essensreizen einen relevanten Anteil an der Entstehung und Aufrechterhaltung von Adipositas haben (Dietrich et al. 2014; French et al. 2012; Mobbs et al. 2010; Nederkoorn et al. 2012; Simmank et al. 2015; Sutin et al. 2011; Vandenbroeck et al. 2007).

1.2 Essverhalten - eine bekannte Ursache für Adipositas

Falsches und ungesundes Essverhalten ist eine bedeutende Ursache für die Entstehung von Adipositas. Individuelle Unterschiede im Essverhalten können mit dem „Fragebogen zum Essverhalten“ (FEV) erfasst werden (Stunkard & Messick 1985; Pudel & Westenhoefer 1989). Dieser Fragebogen umfasst drei verschiedene Faktoren: Die „Störbarkeit“ des Essverhaltens (englisch: disinhibition) beschreibt einen möglichen Kontrollverlust während der Nahrungsaufnahme, z.B. durch emotionale Auslöser oder externe Reize, der zu einer übermäßigen Einnahme von Nahrungsmitteln im Verhältnis zum physiologischen Bedarf führen kann. Die „kognitive Kontrolle“ des Essverhaltens (englisch: cognitive restraint) ist der Versuch einer Person, die tägliche Ernährung bewusst zu kontrollieren, um entweder Übergewicht zu vermeiden oder Gewicht zu verlieren. Typische Strategien, die dabei angewendet werden, sind zum Beispiel nur kleine Portionen zu sich zu nehmen, das Vermeiden von fettigem Essen oder mit dem Essen aufzuhören, bevor sich ein Sättigungsgefühl eingestellt hat (Bryant et al. 2008).

Der Faktor „erlebtes Hungergefühl“ oder kurz „Hunger“ (englisch: hunger) erfasst, wie Hungergefühle wahrgenommen werden und wie diese sich auf das Essverhalten auswirken.

Die Bedeutung des Essverhaltens auf das Gewicht wurde bereits in früheren Studien deutlich. So konnte gezeigt werden, dass die Faktoren Störbarkeit und kognitive Kontrolle neben Alter und Geschlecht 23 % der Gewichtsunterschiede einer Versuchspopulation erklärten (Dietrich et al. 2014). Vor allem individuelle Unterschiede der Störbarkeit des Essverhaltens werden am stärksten und am häufigsten mit starkem Übergewicht und erhöhter Kalorienzufuhr assoziiert (Bryant et al. 2008; Dietrich et al. 2014; French et al. 2012; Lindroos et al. 1997). Allerdings beeinflussen sich die Faktoren des FEV im Bezug zum BMI gegenseitig und dürfen nicht unabhängig voneinander betrachtet werden. So wird zum Beispiel der Zusammenhang zwischen kognitiver Kontrolle des Essverhaltens und BMI durch die Störbarkeit moderiert (Dietrich et al. 2014). Die Entstehung von Adipositas wird nicht nur durch eine hohe Störbarkeit des Essverhaltens begünstigt, sondern durch gleichzeitige niedrige kognitive Kontrolle gefördert (Bryant et al. 2010; Dietrich et al. 2014). Außerdem konnte gezeigt werden, dass Frauen im Allgemeinen höhere Fragebogenwerte für die Faktoren Störbarkeit und kognitive Kontrolle gegenüber Männern aufweisen (Dietrich et al. 2014; Löffler et al. 2015).

1.3 Impulsivität - ein möglicher Risikofaktor für Adipositas

Impulsivität und speziell das Versagen von kognitiven Kontrollmechanismen im Essenskontext stellen einen weiteren möglichen Risikofaktor für die Entstehung von Adipositas dar. Hohe Impulsivität beschreibt die Tendenz ohne Voraussicht zu handeln oder die Unfähigkeit, unangebrachtes Verhalten zu unterdrücken (French et al. 2012). Die derzeitige Studienlage zum Zusammenhang zwischen Adipositas und Impulsivität liefert widersprüchliche Resultate. Dies könnte unter anderem daran liegen, dass der Begriff Impulsivität ein multidimensionales Konstrukt ist, unter dem sehr unterschiedliche Aspekte menschlichen Verhaltens zusammengefasst werden (Bari & Robbins 2013; Caswell et al. 2015; Lawyer et al. 2015).

Die Impulsivität einer Person kann entweder mittels Fragebögen bestimmt oder durch Verhaltensexperimente gemessen werden (Bari & Robbins 2013; Fields et al. 2013). Die verschiedenen Fragebögen und Messverfahren erfassen dabei unterschiedliche Dimensionen der Impulsivität, die zum Teil nur gering miteinander korrelieren (Bari & Robbins 2013; Fields et al. 2013; Guerrieri et al. 2007; Reynolds et al. 2006). Man unterscheidet im Allgemeinen zwischen der Impulsivität als Persönlichkeitsmerkmal, im Folgenden als „Merkmalsimpulsivität“ bezeichnet, und der Impulsivität bei der Durchführung bestimmter Handlungen, im Folgenden „Verhaltensimpulsivität“ genannt. Merkmalsimpulsivität scheint dabei im Vergleich zur Verhaltensimpulsivität eine langzeitigere und allgemeinere Beurteilung der Impulsivität eines Menschen darzustellen (Fields et al. 2013; Reynolds et al. 2006).

Die Merkmalsimpulsivität wird mittels Fragebögen wie der UPPS Impulsivitätsskala (UPPS, Whiteside & Lynam 2001) oder der Barratt Impulsivitätsskala (BIS, Patton et al. 1995; Preuss et al. 2008) erfasst. Die Verhaltensimpulsivität wird experimentell gemessen, zum Beispiel mit dem so genannten „Delay Discounting Task“, dem „Go/NoGo Task“ oder dem „Stop Signal Task“. In einem belohnungsassoziierten Experiment zur Untersuchung verschiedener Dimensionen der Impulsivität konnte dabei keine Beziehung zwischen Merkmalsimpulsivität (erfasst mit dem BIS Version 11) und Verhaltensimpulsivität (gemessen im Stop Signal Task) gefunden werden (Wilbertz et al. 2014).

Die Studienlage für den Zusammenhang zwischen Merkmalsimpulsivität und Adipositas ist uneinheitlich. Eine eindruckliche longitudinale Studie über 50 Jahre (Sutin et al. 2011), auf der Basis

des Fünf-Faktoren Modells der Persönlichkeit (McCrae & Costa 1989), konnte einen signifikanten Effekt von Persönlichkeitsmerkmalen, die eng mit dem Begriff der Impulsivität verbunden sind, auf das Körpergewicht belegen. Im Gegensatz dazu konnten verschiedene Studien einen Zusammenhang zwischen BMI und Merkmalsimpulsivität nicht nachweisen (Dietrich et al. 2014; Fields et al. 2013; Loeber et al. 2012; Simmank et al. 2015). Mögliche Ursachen für diese Diskrepanz sind dabei unterschiedliche Charakteristika der Versuchspopulationen und verschiedene Subskalen der verwendeten Fragebögen (Dietrich et al. 2014; Fields et al. 2013; Loeber et al. 2012; Mobbs et al. 2010; Simmank et al. 2015; Sutin et al. 2011; Yeomans et al. 2008).

Bei der Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Verhaltensimpulsivität und starkem Übergewicht sollte die Verhaltensimpulsivität in mindestens zwei weitere Aspekte unterteilt werden (Lawyer et al. 2015; Reynolds et al. 2006). Ein Aspekt ist die Unfähigkeit langfristige Folgen abzuwarten. Diese Eigenschaft wird häufig mit dem Delay Discounting Task gemessen und beschreibt die Präferenz einer Person für kleinere sofortige Belohnungen gegenüber größeren späteren. Mehrere Studien konnten zeigen, dass übergewichtige Personen im Gegensatz zu einer normalgewichtigen Kontrollgruppe kleinere sofortige Belohnungen bevorzugten (Fields et al. 2013; Lawyer et al. 2015; Simmank et al. 2015; Weller et al. 2008).

Ein zweiter Aspekt der Verhaltensimpulsivität ist die „inhibitorische Kontrolle“. Der Begriff „inhibitorische Kontrolle“ beziehungsweise das Synonym „Handlungskontrolle“ beschreibt die Fähigkeit einer Person unangebrachtes Verhalten zurückzuhalten und ist eng mit dem Konzept der Selbstregulation assoziiert (Bari & Robbins 2013; Wilbertz et al. 2014). Die inhibitorische Kontrolle ist somit eine wichtige Voraussetzung für flexible Verhaltensanpassung an sich ständig ändernde Umweltreize. Bisherige Studien zum Zusammenhang zwischen Adipositas und inhibitorischer Kontrolle lieferten widersprüchliche Ergebnisse (Fields et al. 2013; Houben et al. 2014; Lawyer et al. 2015; Levitan et al. 2015; Nederkoorn et al. 2012). Die inhibitorische Kontrolle besitzt eine zentrale Rolle in der von mir durchgeführten Studie. Daher möchte ich auf diesen Begriff und seine Wechselwirkungen mit Adipositas sowie auf geschlechtsspezifische Merkmale in den Kapiteln 1.5, 1.6 und 1.8 der Einleitung gesondert und detailliert eingehen.

1.4 Impulsivität und Essverhalten

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist noch nicht vollständig geklärt, ob Impulsivität in ihren verschiedenen Dimensionen einen eigenständigen Risikofaktor für Adipositas darstellt, oder nur im Zusammenhang mit anderen Faktoren, beispielsweise einem gleichzeitig gesteigerten Appetenzverhalten, zu Übergewicht und Adipositas führen (French et al. 2012). Eine Studie von Price et al. (2015) konnte beispielsweise zeigen, dass der Zusammenhang zwischen gesteigertem essensbezogenem Belohnungsverhalten und BMI durch hohe Impulsivitätswerte des BIS moderiert wird. Zahlreiche Studien haben den Zusammenhang verschiedener Faktoren des Essverhaltens mit Merkmals- und Verhaltensimpulsivität untersucht. Dabei fanden mehrere Studien einen positiven Zusammenhang zwischen Merkmalsimpulsivität und der Störbarkeit des FEV (Leitch et al. 2013; Lyke & Spinella 2004; Yeomans et al. 2008). Dagegen scheint die Wechselwirkung zwischen Störbarkeit des Essverhaltens und Verhaltensimpulsivität komplexer zu sein. Leitch et al. (2013) fanden in einer weiblichen Versuchspopulation keinen Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Störbarkeit und impulsivem Verhalten im Delay Discounting Task oder Go/NoGo Task. In einer anderen Studie wurde jedoch gezeigt, dass Frauen mit hoher Störbarkeit impulsiver im Delay Discounting Task agierten (Yeomans et al. 2008), vor allem wenn unmittelbar vor dem Test externe Reize in Form von Essensbildern präsentiert wurden (Yeomans & Brace 2015). Simmank et al. (2015) konnten diese Beziehung zwischen impulsivem Verhalten im Delay Discounting Task und hoher Störbarkeit des Essverhaltens nur für Personen mit starkem Übergewicht bestätigen.

Verschiedene Studien konnten keinen vermuteten Zusammenhang zwischen kognitiver Kontrolle des Essverhaltens und Merkmalsimpulsivität nachweisen (Lyke & Spinella 2004; Yeomans et al. 2008). Im Gegensatz dazu agierten Probanden mit hoher kognitiver Kontrolle des Essverhaltens impulsiver im Stop Signal Task (Nederkoorn et al. 2004), aber weniger impulsiv im Go/NoGo Task (Leitch et al. 2013, Meule et al. 2011). Darüber hinaus scheinen die Faktoren Impulsivität und Hungergefühl einer Person zu interagieren (Bartholdy et al. 2016). Probanden, die ein ausgeprägtes aktuelles Hungergefühl hatten und sich gleichzeitig stark impulsiv im Stop Signal Task verhielten, aßen im Gegensatz zu allen anderen Versuchspersonen während eines Experimentes mehr Snacks, wie Kekse oder Schokolade (Nederkoorn et al. 2009). Die Autoren der Studie schlussfolgerten, dass besonders adipöse und gleichzeitig impulsive Personen langfristige Schwierigkeiten haben ihre Gewichtsziele, beispielsweise durch eine Diät, zu erreichen. Vor allem zwischen den Hauptmahlzeiten kann ein ausgeprägtes Hungergefühl bei impulsiven Personen zu ungesunden, hochkalorischen Zwischenmahlzeiten führen. Der Zusammenhang zwischen Impulsivität und Hunger konnte jedoch nur für das aktuelle Hungerempfinden beobachtet werden und nicht für den Faktor erlebtes Hungergefühl im FEV.

Auch wenn die komplexen Beziehungen zwischen Impulsivität und Essverhalten und die gemeinsamen Auswirkungen auf das Gewicht bisher noch nicht eindeutig geklärt sind, deuten bisherige Resultate zumindest darauf hin, dass Impulsivität mit umweltbezogenen Essensreizen interagiert. Personen mit einem hohen Maß an impulsivem Verhalten scheinen daher anfälliger für externe Reize mit hochkalorischem Essen zu sein.

1.5 Die inhibitorische Kontrolle und ihre Bestimmung beim Menschen

Die inhibitorische Kontrolle ist die Fähigkeit einer Person, unangebrachtes Verhalten zurückzuhalten (Bari & Robbins 2013; Wilbertz et al. 2014). Sie ist eng mit dem Konzept der Selbstregulation verbunden und gleichzeitig eine wichtige Voraussetzung für flexible Verhaltensanpassung an sich ständig ändernde Umweltreize. Eigene Handlungsimpulse zu unterdrücken ist eine wesentliche Voraussetzung für das individuelle und soziale Leben. Ein einfaches Beispiel aus dem täglichen Leben ist das abrupte Stehenbleiben an einer gerade rot gewordenen Ampel, obwohl man in Eile ist. Das Unterdrücken des Verlangens nach verfügbarer Schokolade, obwohl man satt ist, ist ein Beispiel für die große Bedeutung der inhibitorischen Kontrolle bei der langfristigen Gewichtsregulation.

Der Stop Signal Task und der Go/NoGo Task sind die am häufigsten verwendeten Messverfahren, um die inhibitorische Kontrolle beim Menschen zu untersuchen. Mehrere Forschungsarbeiten über die inhibitorische Kontrolle betrachten die Ergebnisse der beiden Messverfahren dabei als vergleichbar. Neuropharmakologische und neuroanatomische Befunde weisen jedoch darauf hin, dass die beiden Tests trotz eines ähnlichen Versuchsaufbaues verschiedene Ausprägungen der inhibitorischen Kontrolle messen (Eagle et al. 2008; Swick et al. 2011). Ich möchte diese beiden Formen in meiner Arbeit klar unterscheiden. Der Go/NoGo Task misst das Zurückhalten einer Handlung, also die Unterdrückung der Handlung bevor sie überhaupt gestartet ist. Im Gegensatz dazu misst der Stop Signal Task den Abbruch einer bereits initiierten Handlung (Sebastian et al. 2013). In funktionellen Bildgebungsstudien konnte ein teilweise überlappendes Netzwerk von Hirnarealen in beiden Tasks identifiziert werden. Die Handlungszurückhaltung im Go/NoGo Task führt jedoch zusätzlich zur verstärkten Aktivierung fronto-parietaler Hirnareale im Vergleich zum Abbruch einer Handlung im Stop Signal Task, der stärkere Aktivierungen im cingulo-opercularen Kontrollnetzwerk hervorruft (Swick et al. 2011; Sebastian et al. 2013). Ein weiterer Unterschied zwischen den beiden Ausprägungen der inhibitorischen Kontrolle ist die Regulierung durch verschiedene Transmittersysteme. Serotonin spielt eine entscheidende Rolle bei der Handlungszurückhaltung im

Go/NoGo Task. Dahingegen scheint Noradrenalin ein wichtiger Transmitter während des Handlungsabbruches im Stop Signal Task zu sein (Eagle et al. 2008).

Ich habe den Stop Signal Task als Instrument zur Messung der inhibitorischen Kontrolle aufgrund eines bereits gut etablierten Versuchsaufbaues und umfassender neuroanatomischer Kenntnisse über die kognitiven Verarbeitungsprozesse während des Testes ausgewählt (Bari & Robbins 2013). Des Weiteren scheinen inhibitorische Eigenschaften, die der Stop Signal Task misst, eine Relevanz für das Essverhalten und die Gewichtskontrolle zu besitzen (Bartholdy et al. 2016). Die ursprüngliche Version des Stop Signal Tasks wurde von Logan und seinen Mitarbeitern in der im Folgenden beschriebenen Form entwickelt (Logan & Cowan 1984). Der Task besteht aus zwei verschiedenen experimentellen Bedingungen. In der häufiger präsentierten Go Bedingung muss die Versuchsperson mit der rechten oder linken Hand eine Taste drücken, sobald ein Go Signal auf dem Computerbildschirm erscheint. Das Go Signal ist dabei ein Pfeil nach rechts bzw. links. In der selteneren Stop Bedingung, welche in 25 % aller Durchgänge vorkommt, hört die Versuchsperson nach dem Go Signal einen Ton. Ist dies der Fall, soll sie versuchen, den Tastendruck zu unterbinden. Die Zeit zwischen Go Signal und Stop Signal ist dabei variabel und abhängig von der vorherigen Leistung des Probanden. Sie wird als „Stop Signal Delay“ (SSD) bezeichnet und während des Experimentes dynamisch angepasst: Gelingt es dem Probanden, die Reaktion rechtzeitig zu unterdrücken, wird die SSD im Folgenden verkürzt, gelingt dies nicht, wird sie verlängert. Dieses Verfahren soll gewährleisten, dass der Proband es schafft in ca. 50 % der Stop Durchgänge seine durch das Go Signal hervorgerufene Reaktion zu unterdrücken. Die SSD ist notwendig um die Stop Signal Reaktionszeit (SSRT) zu berechnen, welche man nicht direkt messen kann. Die SSRT kann mithilfe des unabhängigen Rennmodells von Logan und Cowan (1984) berechnet werden. Die SSRT ist definiert als die Zeit, die eine Person benötigt, um eine bereits initiierte Reaktion zu stoppen, nachdem das Stop Signal ertönte. Längere SSRT bedeuten eine schlechtere inhibitorische Kontrolle im Stop Signal Task. Die Stop Signal Reaktionszeit einer Versuchsperson wird aus der Differenz zwischen der durchschnittlichen SSD und der mittleren Reaktionszeit in der Go Bedingung berechnet (Aron & Poldrack 2006; Band et al. 2003; Sebastian et al. 2013).

Der Stop Signal Task hat sich als ein geeignetes Instrument zur Untersuchung der inhibitorischen Kontrolle in der kognitiven Psychologie, kognitiven Neurowissenschaft und der Psychopathologie erwiesen (Verbruggen & Logan 2008). Defizite der Handlungskontrolle konnten mit verschiedenen gesundheitlichen Störungen verbunden werden, wie zum Beispiel Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS), Spielsucht, Alkoholabhängigkeit und Drogenabhängigkeit (Crosbie et al. 2013; Verbruggen & Logan 2008; Verdejo -García et al. 2008). Der oben beschriebene allgemeine Versuchsaufbau des Stop Signal Tasks kann um einen spezifischen Kontext erweitert werden. Durch die Präsentation von neutralen und negativen Bildern vor jedem Go Signal wurde beispielsweise die Beeinflussung der inhibitorischen Kontrolle durch emotionale Stimuli getestet (Krypotos et al. 2011). In gleicher Weise können Bilder von hoch- und niedrigkalorischen Nahrungsmitteln vor dem Go Signal zur essensbezogenen Untersuchung der inhibitorischen Kontrolle eingesetzt werden. Diesen Ansatz habe ich in meiner eigenen Studie, wie in Abschnitt 1.10. beschrieben, verfolgt.

1.6 Inhibitorische Kontrolle und Adipositas

In unserer heutigen westlichen Zivilisation ist zu jeder Gelegenheit und Tageszeit preisgünstiges hochkalorisches Essen verfügbar. Dieser Umstand begünstigt den derzeitigen oft ungesunden Lebensstil unserer Gesellschaft und fördert die Entstehung von Adipositas. Die individuelle Handlungskontrolle eines Menschen gegenüber den allgegenwärtigen hochkalorischen Essensreizen

ist deshalb entscheidend für die Kontrolle des Körpergewichts und die Entwicklung eines gesunden Ernährungsverhaltens.

Appelhans (2009) postuliert in seinem hedonisch-inhibitorischen Modell, dass Mehrkonsum von schmackhaftem Essen gegenüber dem physiologischen Bedarf aus einem Ungleichgewicht zwischen gesteigertem Appetenzverhalten (vermittelt durch das mesolimbische System) und inhibitorischen Kontrollprozessen (vor allem vermittelt durch den dorsolateralen prefrontalen Kortex) resultiert. Hedonisches Essverhalten ist die lustvolle Konsumierung von hochkalorischen Nahrungsmitteln unabhängig vom physiologischen Bedarf zur Aufrechterhaltung einer ausgeglichenen Energiehomöostase (Monteleone et al. 2012). Eine jüngst durchgeführte Studie gab deutliche Hinweise für die Existenz eines hedonisch-inhibitorischen Modells (Price et al. 2015). Stärker ausgeprägte Reaktionen auf Belohnungsreize hervorgerufen durch hedonische Nahrungsmittel waren mit einem höheren BMI assoziiert. Dieser Zusammenhang bestand allerdings nur, wenn die Impulsivität einer Person gemessen mit dem BIS Version 11 gleichzeitig stark ausgeprägt war.

Gesteigertes Appetenzverhalten und erhöhte belohnungsassoziierte Reaktionen auf hochkalorische Nahrungsmittel wurden im Zusammenhang mit Adipositas häufig untersucht. Eine erhöhte neuronale Aktivität in belohnungsverarbeiteten Hirnregionen konnte im Vergleich übergewichtiger zu normalgewichtigen Probanden während der Präsenz von visuellen, gustatorischen oder olfaktorischen Essensreizen nachgewiesen werden (García-García et al. 2014). Diese vermehrte Aktivität in Belohnungszentren wie der Amygdala und dem Striatum war vergleichbar mit Aktivitätsmustern bei suchterkrankten Patienten, denen Stimuli, von welchen sie abhängig waren, visuell präsentiert wurden. Eine Übersichtsarbeit, die 60 unterschiedliche Einzelstudien beinhaltet, konnte zeigen, dass die neuronale Reaktion, hervorgerufen durch hochkalorische Essensbilder, in belohnungsverarbeitenden Hirnarealen mit dem BMI zunimmt (Pursey et al. 2014). Außerdem wurde beobachtet, dass adipöse Probanden während eines Zustandes längerer Nahrungskarenz eine erhöhte Aktivität in Hirnarealen, die mit der Antizipation von Belohnung assoziiert sind, aufweisen. Schlanke Personen zeigten dagegen während längerer Nahrungskarenz eine vermehrte Aktivierung von inhibitorischen Kontrollarealen. Darüber hinaus besaßen stark übergewichtige Versuchspersonen gegenüber einer schlanken Kontrollgruppe eine höhere Motivation für hochkalorisches Essen zu arbeiten, trotz vergleichbarer Präferenzen für die untersuchten Nahrungsmittel (Giesen et al. 2010).

Der Zusammenhang zwischen BMI und inhibitorischer Kontrolle wurde bereits in zahlreichen Studien untersucht, allerdings mit sehr unterschiedlichen Ergebnissen. Eine kürzlich veröffentlichte Übersichtsarbeit (Bartholdy et al. 2016) verglich die Ergebnisse 19 verschiedener Einzelstudien zum Thema Adipositas und inhibitorischer Kontrolle gemessen mit dem Stop Signal Task bei Erwachsenen, Jugendlichen und Kindern. Die Mehrzahl der Studien konnte außerhalb des Essenskontextes keinen Zusammenhang zwischen SSRT und dem Gewicht bei Erwachsenen (Hendrick et al. 2012; Houben et al. 2014; Lawyer et al. 2015) und Jugendlichen (Fields et al. 2013) nachweisen. Innerhalb der sehr wenigen Studien, die eine Beziehung von starkem Übergewicht und hohem SSRT belegen konnten, zeigten die Versuchspersonen entweder eine Komorbidität mit pathologischem Glückspiel (Chamberlain et al. 2015), oder ein signifikanter Zusammenhang bestand nur im letzten Versuchsblock des Experimentes (Nederkoorn et al. 2006). Es ist also nicht auszuschließen, dass diese beobachteten Zusammenhänge aus den Spezifika der Probandenpopulationen oder dem speziellen experimentellen Design resultieren und damit nicht verallgemeinerbar sind. Umfassende Studien zum essensbezogenen Stop Signal Task sind bisher kaum vorhanden und auf Frauen und Kinder als Versuchspersonen beschränkt. Bartholdy und Kollegen (2016) kritisieren in ihrer Übersichtsarbeit, dass männliche Probanden in bereits durchgeführten Stop Signal Task Experimenten deutlich unterrepräsentiert sind. Houben et al. (2014) beobachteten in einem essensbezogenen Stop Signal Task, der per Internet durchgeführt wurde, längere SSRT bei

übergewichtigen im Vergleich zu normalgewichtigen Frauen. Dagegen wurden in der gleichen Versuchspopulation keine Unterschiede in einem gewöhnlichen Stop Signal Task gefunden. Nederkoorn und Kollegen (2012) konnten zeigen, dass adipöse Kinder impulsiver in einem Stop Signal Task nach der Ansicht von Essensbildern im Vergleich zu Bildern von Spielzeugen agierten. Eine mit normalgewichtigen Frauen durchgeführte essensbezogene Untersuchung ergab eine positive Korrelation zwischen SSRT und Fragebogenwerten des Food Craving Questionnaire (Meule et al. 2014). Anders ausgedrückt bedeutet dieses Ergebnis, dass Frauen mit längeren SSRT ein höheres Verlangen nach diversen Nahrungsmitteln besaßen. Allerdings konnte in dieser Studie kein direkter Zusammenhang zwischen BMI und SSRT beobachtet werden.

Die Diversität der aktuellen Studienresultate zur essensbezogenen inhibitorischen Kontrolle kann teilweise durch methodische Sachverhalte und die unterschiedliche Zusammensetzung der Versuchspopulationen erklärt werden. Adipöse Personen, die dauerhaft versuchen ihr Gewicht zu reduzieren, weisen z.B. eine 25 prozentige Komorbidität mit der am häufigsten vorkommenden Essstörung dem Binge Eating auf (Hudson et al. 2007; Pull 2004). Die Ergebnisse einer Übersichtsarbeit zum Thema essensbezogene Impulsivität legen nahe, dass bereits in der Versuchsplanung stark übergewichtige Probanden ohne Binge Eating Störung von Probanden mit dieser gesundheitlichen Störung unterschieden werden sollten (Schag et al. 2012). Die seltene Berücksichtigung der Heterogenität von stark übergewichtigen Personen in der Versuchsplanung trägt entscheidend zu den widersprüchlichen Studienergebnissen zum Thema inhibitorische Kontrolle und Adipositas bei.

Anhand der aktuellen Studienlage kann man schlussfolgern, dass stark übergewichtige Personen nicht an einer verminderten allgemeinen inhibitorischen Kontrolle per se leiden. Vielmehr hängt die Fähigkeit, eine unangebrachte Reaktion zu unterdrücken, vom generellen Kontext und der spezifischen Situation ab (Bartholdy et al. 2016). Die gegenwärtige Relevanz und vor allem der individuelle hedonische Wert eines Nahrungsmittels scheinen einen entscheidenden Einfluss auf die inhibitorische Kontrolle von übergewichtigen Personen zu haben.

1.7 Geschlechtsunterschiede im Essenskontext allgemein und speziell in der Verarbeitung von Essensbildern

Eine von mir durchgeführte intensive Literaturrecherche ergab, dass bis zur Einreichung des Manuskriptes „Stopping at the sight of food - How gender and obesity impact on response inhibition“ keine systematischen Untersuchungen geschlechtsspezifischer Unterschiede zum Thema essensbezogene inhibitorische Kontrolle und BMI in einer erwachsenen Versuchspopulation vorlagen. Dies ist ein bemerkenswerter Umstand, insbesondere aufgrund von etablierten Unterschieden zwischen Männern und Frauen im Essverhalten (Hermann & Polivy 2010; Westenhoefer 2005), sowie im sozialen und kulturellen Kontext (Swami 2015) und in der Struktur und Funktion des Gehirns (Cosgrove et al. 2007; Ruigrok et al. 2014).

In den westlichen Industrienationen ist gesundes Essen mit niedrigem Fettgehalt Teil eines modernen weiblichen Rollenbildes geworden (Vartanian et al. 2007). Die weibliche Schönheit ist in unserer heutigen westlichen Zivilisation eng mit dem Begriff Schlankheit verbunden (Swami 2015). Frauen, die nur kleine Mahlzeiten von gesunden Nahrungsmitteln mit niedriger Kalorienzahl zu sich nehmen, werden von anderen Personen als weiblicher und körperlich attraktiver eingeschätzt. Konkret konnte z.B. gezeigt werden, dass Männer Fotos von Frauen mit einem BMI zwischen 20 und 24 kg/m² attraktiver, gesünder und sogar fruchtbarer einschätzten als Fotos von untergewichtigen, übergewichtigen oder adipösen Frauen (Swami et al. 2008; Swami 2015). Dieses Schönheitsideal ist allerdings vom sozialen Status abhängig. Innerhalb von Personengruppen mit einem niedrigen

sozioökonomischen Status werden Frauen mit höherem BMI eher als attraktiver bewertet (Swami et al. 2010).

Während Männer das kulturelle Schlankheitsideal meist weniger verinnerlicht haben und im Allgemeinen zufriedener mit ihrer körperlichen Statur sind (Yean et al. 2013), achten Frauen oft sehr bewusst auf ihre Ernährung, um langfristig schlank zu bleiben oder Gewicht zu reduzieren. Dies spiegelt sich z.B. durch höhere Fragebogenwerte des Faktors kognitive Kontrolle im FEV wieder, der die bewusste Einschränkung von Nahrungsmitteln zur Gewichtskontrolle misst (Bellisle et al. 2004; Dietrich et al. 2014; Löffler et al. 2015; Westenhoefer 2005). Eine Feldstudie konnte weiterhin zeigen, dass unauffällig beobachtete Studentinnen in der Gegenwart von männlichen Kommilitonen während des Mittagessens weniger Kalorien zu sich nahmen als allein (Young et al. 2009). Das Ausmaß dieses wahrscheinlich unbewussten Verhaltens war umso größer, je mehr männliche Studenten am gleichen Tisch saßen. Frauen in den westlichen Industrienationen weisen darüber hinaus eine höhere Motivation zur Gewichtskontrolle und eine größere Vorliebe für Obst und Gemüse auf, mit einem deutlichen Mehrkonsum dieser Nahrungsmittel, im Vergleich zu Männern (Hermann & Polivy 2010; Logue & Smith 1986; Rappoport et al. 1993; Westenhoefer 2005). Des Weiteren besitzen Frauen vermehrte Kenntnisse über Ernährung, setzen sich mehr mit ihrer Gesundheit auseinander und schätzen gesunde Ernährung als wichtiger ein.

Bildgebende Studien konnten zeigen, dass Frauen und Männer Bilder von hochkalorischen und niedrigkalorischen Nahrungsmitteln unterschiedlich verarbeiten. Frauen wiesen während der Ansicht von hochkalorischen Essensbildern im Vergleich zu männlichen Kontrollprobanden eine erhöhte neuronale Aktivität im dorsolateralen prefrontalen Kortex und im parietalen Kortex auf (Cornier et al. 2010; Killgore & Yurgelun-Todd 2010). Der parietale Kortex und vor allem der dorsolaterale prefrontale Kortex spielen eine entscheidende Rolle in der inhibitorischen Kontrolle (Bari & Robbins 2013; Verbruggen & Logan 2008; Wilbertz et al. 2014). Darüber hinaus wurden geschlechtsspezifische Unterschiede in weiteren inhibitorischen und zusätzlich in belohnungsverarbeitenden Hirnregionen, wie dem ventrolateralen prefrontalen Kortex, der Insel und dem Nucleus Caudatus, gefunden (Geliebter et al. 2013; Killgore & Yurgelun-Todd 2010).

Die Funktion kognitiver Kontrollmechanismen gegenüber hochkalorischen Essensreizen sind jedoch situativ unterschiedlich und werden durch Faktoren wie Stress oder Hunger beeinflusst (Wang et al. 2009; Zellner et al. 2006). So konnte sowohl mittels Fragebögen als auch experimentell gezeigt werden, dass Frauen in Stresssituationen zu einer übermäßigen Nahrungsaufnahme neigen. Dabei werden Nahrungsmittel wie Schokolade, die aufgrund der Gewichtskontrolle normalerweise gemieden werden, bevorzugt konsumiert (Oliver & Wardle 1999; Zellner et al. 2006). Kognitive Kontrolle des Essverhaltens besitzt einen hohen Vorhersagewert für solche stressinduzierten Attacken von übermäßigem Nahrungsmittelkonsum (Greeno & Wing 1994). Männer neigen dagegen in Stresssituationen zu einer verminderten Aufnahme von ungesunden hochkalorischen Lebensmitteln (Zellner et al. 2007). Trotz scheinbar besserer Kontrollmechanismen gegenüber hochkalorischen Nahrungsmitteln besitzen Frauen höhere Fragebogenwerte im FEV-Faktor Störbarkeit des Essverhaltens (Bellisle et al. 2004; Dietrich et al. 2014; Löffler et al. 2015) und leiden häufiger an Essstörungen. Zudem treten bei Frauen öfter spezifische essensbezogene Probleme auf, beispielsweise Essattacken ausgelöst durch Gefühle oder emotionale Ereignisse (Welch et al. 2015; Yean et al. 2013). Dieses Verhalten, welches in der englischsprachigen Fachliteratur als „emotional eating“ bezeichnet wird, ist eine maladaptive Strategie, um emotionale Probleme zu bewältigen. Frauen neigen vor allem in stressigen Lebenssituationen zu emotionsbezogenem Essen und nutzen den Konsum ungesunder hochkalorischer Nahrungsmittel als Bewältigungsstrategie (Bennett et al. 2013). Eine mangelhafte Regulation eigener Emotionen kann somit zur Entwicklung von Übergewicht beitragen.

Zusammenfassend kann man sagen, dass Frauen im Gegensatz zu Männern unter normalen Lebensumständen oft eine stärker ausgeprägte inhibitorische Kontrolle gegenüber hochkalorischen Nahrungsmitteln besitzen. Allerdings können diese Kontrollmechanismen in Stress- und Hungersituationen eingeschränkt sein, was trotz bewusster Gewichtskontrolle zu Essattacken und Gewichtszunahme führen kann.

1.8 Geschlechtsunterschiede in der inhibitorischen Kontrolle

Geschlechtsunterschiede in der allgemeinen inhibitorischen Kontrolle wurden bisher nur unzureichend systematisch untersucht und lieferten widersprüchliche Resultate. Bei der Untersuchung von Kindern und Jugendlichen wurden für Jungen im Vorschulalter längere SSRT als für gleichaltrige Mädchen gemessen (Leviton et al. 2015). Ein umgekehrtes Muster, mit längeren SSRT der Mädchen, wurde dagegen in einer dreizehn- bis neunzehnjährigen Versuchspopulation nachgewiesen (Rubia et al. 2013). Im Allgemeinen sind Reaktionszeiten beim Menschen altersabhängig (Rubia et al. 2013; Williams et al. 1999) und nehmen mit steigendem Alter zu (Sebastian et al. 2013). Aus diesem Grund können Ergebnisse aus Kinderstudien zur inhibitorischen Kontrolle nicht direkt auf erwachsene Versuchspopulationen übertragen werden.

Im Erwachsenenalter wurden in generellen Stop Signal Tasks keine signifikanten Unterschiede der SSRT oder der Go Reaktionszeiten zwischen Männern und Frauen gefunden (Evans & Hampson 2015; Lawyer et al. 2015; Li et al. 2009; Mione et al. 2015; Rubia et al. 2013). Li und Kollegen (2006) beobachteten in einer bildgebenden Studie, dass trotz fehlender Verhaltensunterschiede zwischen den beiden Geschlechtern eine veränderte Rekrutierung von kortikalen und subkortikalen Hirnregionen stattfand. Dies legt den Schluss nahe, dass Frauen und Männer unterschiedliche kognitive Strategien im Stop Signal Task benutzen, die zu vergleichbaren SSRT führen. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass Frauen im Gegensatz zu Männern ihr Verhalten mehr an die vorherigen Durchgänge anpassten (Li et al. 2009; Mione et al. 2015; Thakkar et al. 2014). Frauen beschleunigten ihre Reaktionen nach korrekten Go Durchgängen und verlangsamten ihre Handlungen nach vorherigem Fehlverhalten stärker als Männer.

Bis zum Vorlegen der hier präsentierten Studie wurden noch keine systematischen Untersuchungen zu Geschlechtsunterschieden der inhibitorischen Kontrolle im Essenskontext durchgeführt. Die von mir durchgeführte Studie liefert somit erste Ergebnisse, die die Bedeutung der inhibitorischen Kontrolle und ihrer geschlechtsspezifischen Unterschiede bei der Entstehung und Aufrechterhaltung von Adipositas belegen.

1.9 Hypothesen

Das Ziel meiner Studie war die Untersuchung gewichts- und geschlechtsspezifischer Unterschiede der inhibitorischen Kontrolle innerhalb und außerhalb des Essenskontextes. Individuelle Faktoren wie Essverhalten, Merkmalsimpulsivität und Präferenzen für hoch- und niedrigkalorische Lebensmittel wurden in die Analysen einbezogen. Diese Faktoren sind dafür bekannt, dass sie sowohl eng mit der inhibitorischen Kontrolle als auch mit Adipositas verbunden sind (siehe 1.2 und 1.4). Basierend auf der aktuellen oben ausführlich dargestellten Studienlage, wurden folgende Hypothesen getestet:

1. Adipöse im Vergleich zu schlanken Versuchspersonen zeigen eine reduzierte inhibitorische Kontrolle im Essenskontext, d.h. längere SSRT im essensbezogenen Stop Signal Task. Dieser Zusammenhang sollte am deutlichsten nach der Betrachtung von hochkalorischen Nahrungsmitteln hervortreten. Außerhalb des Essenskontextes bestehen keine gewichtsspezifischen Unterschiede.

2. Aufgrund der unterschiedlichen Verarbeitung von Essensreizen zwischen Männern und Frauen und des stärkeren sozialen Druckes für gesunde Ernährung und niedrigeres Körpergewicht bei Frauen, weisen Frauen eine erhöhte inhibitorische Kontrolle auf, d.h. kürzere SSRT im Vergleich zu Männern, insbesondere im Kontext hochkalorischer Nahrungsmittel. Dagegen bestehen keine geschlechtsspezifischen Unterschiede außerhalb des Essenskontextes.
3. Frauen zeigen eine höhere Präferenz für niedrigkalorische Nahrungsmittel und gleichzeitig kürzere SSRT nach der Präsentation hochkalorischer im Vergleich zu niedrigkalorischen Essensreizen. Bei Männern sind dagegen keine signifikanten Unterschiede oder sogar ein umgekehrtes Muster nachweisbar.
4. Merkmalsimpulsivität, sowie die Faktoren Störbarkeit des Essverhaltens und kognitive Kontrolle des FEV üben einen direkten oder zumindest einen Moderationseffekt auf die Beziehung zwischen BMI und inhibitorischer Kontrolle aus. Aufgrund der Heterogenität der derzeitigen Studienlage konnten hier jedoch keine spezifischen Hypothesen über Stärke und Richtung eines Zusammenhanges formuliert werden.

1.10 Methoden

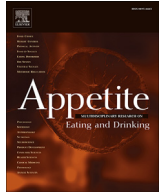
Die unter 1.9 aufgeführten Hypothesen wurden in einem modifizierten essensbezogenen Stop Signal Task getestet. Dazu habe ich 37 adipöse (BMI zwischen 30 kg/m^2 - 40 kg/m^2) und 33 schlanke (BMI zwischen $18,5 \text{ kg/m}^2$ - 25 kg/m^2) Versuchspersonen zu meinem Experiment eingeladen und untersucht. Die Versuchspersonen waren zwischen 18 und 35 Jahre alt. Es wurde statistisch sichergestellt, dass beide Gewichtsgruppen in den Merkmalen Alter, Bildungsgrad und Anteil Männer/Frauen pro Gruppe übereinstimmten. Um im Vorfeld der Studie mögliche Störfaktoren auszuschließen, wurden während des Rekrutierungsprozesses der Probanden eine Reihe von Ausschlusskriterien, wie frühere oder derzeitige neurologische oder psychiatrische Erkrankungen, Schilddrüsenerkrankungen, regelmäßige Medikamenteneinnahme (mit Ausnahme von Blutdruckmedikamenten und Kontrazeptiva), Nikotinkonsum, Stottern und Farbsehstörungen angewendet. Ich möchte an dieser Stelle insbesondere den Ausschluss von Personen mit Essstörungen und bestimmtem Diätverhalten betonen, da diese, wie oben ausgeführt, die inhibitorische Kontrolle und die Verarbeitung von Essensreizen maßgeblich beeinflussen können.

Die experimentelle Messung einer Versuchsperson lief wie folgt ab. Nach der Ankunft im Labor wurde sie zunächst über die Freiwilligkeit der Teilnahme und den Versuchsablauf informiert. Anschließend wurde ein Bewertungstest von Essensbildern durchgeführt. Die Versuchsperson sah am Computerbildschirm nacheinander 210 verschiedene Bilder aus den zwei Kategorien hochkalorischer und niedrigkalorischer Nahrungsmittel und sollte jedes Bild spontan nach der Schmackhaftigkeit der abgebildeten Nahrungsmittel auf einer Skala von 1 bis 4 bewerten (gar nicht schmackhaft, nicht so schmackhaft, ziemlich schmackhaft und sehr schmackhaft). Dieser Test wurde einerseits durchgeführt, um eventuelle Präferenzen der Versuchspersonen gegenüber hoch- und niedrigkalorischen Nahrungsmitteln festzustellen. Andererseits wurden gleichzeitig für jeden Probanden individuell die jeweils 50 schmackhaftesten hoch- und niedrigkalorischen Essensbilder ausgewählt. Diese 100 individuell bestimmten Essensbilder wurden im nachfolgenden essensbezogenen Stop Signal Task verwendet. Die spezifische Vorauswahl der Essensbilder stellte sicher, dass ein möglicher Kategorie Effekt der Essensbilder auf die SSRT nicht durch eine unterschiedliche Schmackhaftigkeit der hoch- und niedrigkalorischen Nahrungsmittel bedingt war. Der anschließend durchgeführte essensbezogene Stop Signal Task gleicht in seinen Grundzügen dem ursprünglichen Stop Signal Task von Logan und Cowan (1984), welcher bereits unter 1.5 beschrieben wurde. Zur Untersuchung der inhibitorischen Kontrolle im Essenskontext habe ich den Task wie folgt modifiziert. Vor jedem Go Signal wurde den Probanden ein Bild aus einer von drei Kategorien präsentiert: Hochkalorische Nahrungsmittel,

niedrigkalorische Nahrungsmittel und neutrale Gegenstände (Tische und Stühle). Jeder Proband absolvierte 200 Durchgänge pro Bildkategorie. Je 1/3 der Durchgänge waren Stop Durchgänge. Der gesamte Task dauerte ca. 40 Minuten. Jedes Bild erschien vier Mal in zufälliger Reihenfolge während des Experimentes. Die Versuchsperson wurde vor dem Experiment belehrt, dass es genauso wichtig ist, schnell und akkurat auf den Go Stimulus zu reagieren, wie die Reaktion zu unterdrücken nachdem das Stop Signal ertönte. Im Anschluss an den Stop Signal Task wurde das individuelle Essverhalten des Probanden mit dem Fragebogen zum Essverhalten erfasst und die Merkmalsimpulsivität mit der Impulsivitätsskala von Barratt Version 11 ermittelt. Zum Abschluss wurde die Versuchsperson gemessen und gewogen.

Alle statistischen Analysen der erhobenen Daten wurden mithilfe des Programmes IBM SPSS Version 22.0 durchgeführt. Demographische Daten, Fragebogenwerte, Bewertungen von Essensbildern und Stop Signal Task Fehlerraten wurden mit unabhängigen T-Tests analysiert. Vor der Testung wurde die Normalverteilung der Daten mithilfe des Shapiro Wilk Testes geprüft. Nicht normalverteilte Daten wurden mit dem Mann-Whitney U-Test analysiert. Chi Quadrat Tests und Fishers exakte Tests wurden für Berechnungen der Geschlechterverteilung und zum Vergleich des Bildungsgrades zwischen den Probandengruppen verwendet. SSRT und Go Reaktionszeiten wurden getrennt voneinander in jeweils 2 Kovarianzanalysen (ANCOVA) analysiert. Dabei wurde die Bildkategorie als Innersubjektfaktor, Geschlecht und Gewicht als Zwischensubjektfaktoren verwendet. Die erste ANCOVA umfasste alle 3 Bildkategorien, sowie die Merkmalsimpulsivität (BIS) als interessierende Kovariate. In der zweiten Analyse wurden nur die beiden essensbezogenen Kategorien miteinander verglichen. Dabei wurden die Störbarkeit des Essverhaltens und Ergebnisse des Bewertungstestes der Essensbilder als Kovariaten von Interesse miteinbezogen. Beide Kovarianzanalysen enthielten das Alter, ein wichtiger Einflussfaktor von Reaktionszeiten, als zusätzliche Kovariate. Darüber hinaus testete ich den möglichen Moderationseffekt von Merkmalsimpulsivität und Essverhalten auf den BMI und die inhibitorische Kontrolle. Dabei nutzte ich die SPSS toolbox PROCESS (Hayes 2013), die es ermöglicht Moderationseffekte mit Hilfe multipler Regressionsmodelle zu testen. Dabei dienten der BMI als unabhängige Variable, die BIS Werte oder die Faktoren Störbarkeit und kognitive Kontrolle des FEV als Moderatoren und die SSRT als abhängige Variable. Alle Moderationsanalysen wurden für Alter und Geschlecht korrigiert.

2 Publikation



Stopping at the sight of food – How gender and obesity impact on response inhibition



Christoph Mühlberg^{a, b}, David Mathar^{a, b}, Arno Villringer^{a, b, c, d}, Annette Horstmann^{a, b}, Jane Neumann^{a, b, *}

^a Integrated Research and Treatment Center Adiposity Diseases, University Hospital Leipzig, Germany

^b Department of Neurology, Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences Leipzig, Germany

^c Clinic of Cognitive Neurology, University Hospital Leipzig, Germany

^d Mind & Brain Institute, Berlin School of Mind and Brain, Humboldt-University Berlin, Germany

ARTICLE INFO

Article history:

Received 15 May 2016

Received in revised form

16 August 2016

Accepted 30 August 2016

Available online 31 August 2016

Keywords:

Response inhibition

Stop signal task

Obesity

Gender

Impulsivity

ABSTRACT

Recent research indicates that reduced inhibitory control is associated with higher body mass index (BMI), higher food craving and increased food intake. However, experimental evidence for the relationship between response inhibition and weight status is inconsistent and to date has been investigated predominantly in women. In the current study, 56 participants (26 obese, 30 lean; 27 female, 29 male) performed a Food Picture Rating Task followed by a Stop Signal Task where pictures of palatable high or low caloric food or non-food items were presented prior to the Go signal. We further assessed participants' self-reported eating behavior and trait impulsivity as potential factors influencing response inhibition, in particular within the food context. Independent of BMI, women showed significantly higher liking for low caloric food items than men. This was accompanied by shorter Stop Signal Reaction Times (SSRT) after high compared to low caloric food pictures for women, and shorter SSRT in women compared to men for high caloric food. No influence of gender on SSRT was observable outside of the food context. While SSRTs did not differ between obese and lean participants across the three picture categories, we found a moderating effect of trait impulsivity on the relationship between BMI and SSRT, specifically in the high caloric food context. Higher BMI was predictive of longer SSRT only for participants with low to normal trait impulsivity, pointing at a complex interplay between response inhibition, general impulsivity and weight status. Our results support the notion that individuals with obesity do not suffer from diminished response inhibition capacity *per se*. Rather, the ability to withhold a response depends on context and social norms, and strongly interacts with factors like gender and trait impulsivity.

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

The obesity pandemic is one of the major health problems of our time. Over the past 40 years, worldwide obesity prevalence has more than doubled (World Health Organization, 2016), and on average the world's population has become 1.5 kg heavier each decade (NCD Risk Factor Collaboration, 2016). In 2014, over 1.9 billion adults were overweight or obese with a discrepancy between genders: While more women than men are obese

worldwide, this pattern reverses in modern Western societies with more overweight men than women (Kanter & Caballero, 2012). Obesity is closely linked to diseases that reduce life expectancy including cardiovascular diseases, type 2 diabetes, breast and colon cancers (e.g. Swinburn et al., 2011). An increasing prevalence of obesity thus increases the burden on both affected individuals and public health services.

One reason to become obese is the interplay of socio-economic risk factors including technological advances, abundance of cheap, palatable, energy dense food, sedentary jobs and a strong impact of the food marketing industry on our eating habits (Kanter & Caballero, 2012; Swinburn et al., 2011; Vandenbroeck, Goossens, & Clemens, 2007). Many people are exposed to these environmental risk factors, yet, not everyone becomes obese. It is thus

* Corresponding author. Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences, Stephanstraße 1a, 04103, Leipzig, Germany.

E-mail address: neumann@cbs.mpg.de (J. Neumann).

assumed that additional factors like biological variability and genetics, individual differences in eating behavior, personality traits such as reward sensitivity and impulsivity, and alterations in general cognitive control mechanisms like response inhibition capacity play a key role in excessive weight gain (Dietrich, Federbusch, Grellmann, Villringer, & Horstmann, 2014; French, Epstein, Jeffery, Blundell, & Wardle, 2012; Mobbs, Crépin, Thiéry, Golay, & Van der Linden, 2010; Nederkoorn, Coelho, Guerrieri, Houben, & Jansen, 2012; Simmank, Murawski, Bode, & Horstmann, 2015; Sutin, Ferrucci, Zonderman, & Terracciano, 2011; Vandenbroeck et al., 2007).

In this paper we explore obesity- and gender-related behavioral alterations in response inhibition both within and outside of the food context. We take into account self-reported eating behavior and trait impulsivity as important factors for the development and maintenance of obesity with close relations to inhibitory control. Response inhibition describes the ability to withhold (inappropriate) actions or responses and is a hallmark of flexible behavioral adaptation to a changing environment. It is closely related to concepts of self-regulation and goal-directed behavior (Bari & Robbins, 2013; Wilbertz et al., 2014). Lack of response inhibition is believed to constitute one aspect of impulsive behavior (Reynolds, Ortengren, Richards, & de Wit, 2006). The Stop Signal Task (SST) has proven to be a useful tool to study controlled response inhibition in cognitive psychology, cognitive neuroscience and psychopathology (Verbruggen & Logan, 2008). It aids the estimation of the Stop Signal Reaction Time (SSRT) which is defined as the time an individual needs to withhold an already initiated response after a Stop signal occurred. Longer SSRTs in the Stop Signal Task indicate a reduced capacity for response inhibition. Response inhibition deficits have been linked to several disorders like attention-deficit/hyperactivity disorder, compulsive gambling and substance abuse disorders, e.g. cocaine addiction, methamphetamine addiction or alcohol dependency (Crosbie et al., 2013; Verbruggen & Logan, 2008; Verdejo-García, Lawrence, & Clark, 2008).

Obesity and overeating have been hypothesized to be accompanied by deficits in response inhibition in humans (e.g. Batterink, Yokum, & Stice, 2010). However, experimental evidence for this relationship is inconsistent. In a recent comprehensive review, Bartholdy, Dalton, O'Daly, Campbell, and Schmidt (2016) identified 19 studies on the relationship of SST performance and weight status in adults, adolescents and children. Outside of the food context, most studies failed to find consistent associations between obesity and response inhibition in both adults (e.g. Hendrick, Luo, & Li, 2012; Houben, Nederkoorn, & Jansen, 2014; Lawyer, Boomhower, & Rasmussen, 2015) and youths (e.g. Fields, Sabet, & Reynolds, 2013), with very few exceptions (e.g. Chamberlain, Derbyshire, Leppink, & Grant, 2015). Within the food context, comprehensive studies on obesity-related alterations of inhibitory control are scarce and focus specifically on women and children. In an internet-based study, Houben et al. (2014) observed longer SSRTs in a food-related SST in women with higher compared to lower BMI, with no differences in a standard SST. Nederkoorn et al. (2012) found that overweight children exhibited longer SSRTs in response to food pictures as compared to toy pictures. Meule, Lutz, Voegelé, and Kubler (2014) examined response inhibition in normal weight women with a food-related SST and observed a positive correlation between Food Craving Questionnaire scores and SSRTs in food-related trials, but in contrast to the previous studies, the authors did not find a direct relationship between BMI and SSRT. While diversity of these results can be attributed in part to methodological issues and sample variations, taken together, previous research on response inhibition within the food context does not convey a clear picture.

Importantly, to the best of our knowledge, no study investigated

gender differences in adults and their relation to obesity in the assessment of response inhibition within the food context. This is remarkable, given well-established gender differences in feeding behavior (Herman & Polivy, 2010, pp. 455–469; Westenhoefer, 2005), in social and cultural forces (Swami, 2015), and in general brain structure and function (e.g. Cosgrove, Mazure, & Staley, 2007; Ruigrok et al., 2014). Various imaging studies showed differences in how men and women process food pictures, most notably within cortical regions involved in behavioral and inhibitory control and self-referential cognition (Cornier, Salzberg, Endly, Bessesen, & Tregellas, 2010; Killgore & Yurgelun-Todd, 2010), as well as in affective and reward-related brain regions (Geliebter et al., 2013). In an earlier study (Horstmann et al., 2011), we assessed gender-specific correlations between markers of obesity and gray matter volume (GMV). In women only, we observed correlations of BMI and GMV in the left putamen as well as between Leptin concentration and GMV in the right dorsolateral prefrontal cortex. While the putamen is believed to be crucially involved in the formation of habits, the dorsolateral prefrontal cortex is an area typically engaged in goal-directed actions. These findings, together with social pressure that in Western cultures promotes low calorie feeding and thinness as the modern feminine ideal, suggest a heightened inhibitory control in response to high caloric food stimuli in women.

Outside of the food context, Li, Huang, Constable, and Sinha (2006) observed gender-specific alterations in the recruitment of cortical and subcortical brain regions when performing a general SST, despite the absence of behavioral differences. In one study, non-food related SSRTs were longer in pre-school boys than in girls (Levitani et al., 2015), but the opposite pattern was found in another study which assessed 13–19 year olds (Rubia et al., 2013). Because SSRT is age dependent and the likelihood to inhibit a response increases progressively until middle age (Rubia et al., 2013; Sebastian et al., 2013), the observed effects for children and adolescents can not be transferred directly to expected adult behavior, and no gender differences were reliably detectable for general SST in adults (Evans & Hampson, 2015; Lawyer et al., 2015; Li et al., 2009; Mione et al., 2015; Rubia et al., 2013). Thus, gender differences in response inhibition both within and outside of the food context and their interaction with obesity remain an unresolved issue to date, in particular in adult populations.

Various behavioral and personality characteristics jointly impact on the development and maintenance of obesity. Eating behavior as one of the most important factors is usually measured with the three factor eating questionnaire (TFEQ; Stunkard & Messick, 1985). It consists of three subscales: 'cognitive restraint' which measures the intent to control daily food intake, 'disinhibition' which captures the tendency to overeat, and 'hunger' which characterizes food intake in response to hunger feelings. For the 'Fragebogen zum Essverhalten' (FEV; Pudel & Westenhoefer, 1989), the German version of the TFEQ, Dietrich et al. (2014) observed that the cognitive restraint and disinhibition subscales interact and jointly explained 23% of their sample's BMI variance. The combination of high disinhibition and low cognitive restraint seems to be particularly linked to obesity (Bryant, Kiezebrink, King, & Blundell, 2010) with disinhibition as the strongest and most consistently found predictor of obesity (Bryant, King, & Blundell, 2008; French et al., 2012; Lindroos et al., 1997).

Impulsive behavior constitutes a further putative risk factor for obesity. Broadly speaking, high impulsivity describes the tendency to act without forethought, the inability to inhibit inappropriate behaviors and to wait, and the insensitivity to (harmful) consequences (French et al., 2012). Previous studies on the impact of impulsivity on eating behavior and obesity report mixed results (for an extensive review see French et al., 2012). One reason for this

heterogeneity could be the multidimensional construct of impulsivity (Bari & Robbins, 2013; Caswell, Bond, Duka, & Morgan, 2015; Evenden, 1999). In the literature, various measures are linked to impulsivity, reaching from self-reported impulsivity assessed by questionnaires to behavioral measures obtained, for example, in the Delay Discounting Task, the Go/NoGo Task and the SST (Bari & Robbins, 2013; Fields et al., 2013). It is important to acknowledge that different measures of impulsivity assess different dimensions of this construct with often only low correlations among them (Bari & Robbins, 2013; Fields et al., 2013; Guerrieri, Nederkoorn, & Jansen, 2007; Reynolds et al., 2006; Schag, Schönleber, Teufel, Zipfel, & Giel, 2012; Wilbertz et al., 2014). While a comprehensive discussion of impulsivity is beyond the scope of this paper, in the present work we distinguish between self-reported trait impulsivity as assessed by the Barratt Impulsiveness Scale (BIS–11, Patton, Stanford, & Barratt, 1995; Preuss et al., 2008), a well-validated questionnaire for self-reported impulsivity, and response inhibition as measured by the SST. The former is believed to provide a rather general and long-term measure of impulsivity. In contrast, response inhibition constitutes only a single aspect of impulsivity that specifically refers to the ability to withhold a response in a given context (Fields et al., 2013; Reynolds et al., 2006).

Self-reported impulsivity has previously been linked to obesity (Mobbs et al., 2010; Sutin et al., 2011), although strength and directionality of this relationship seems to depend on particular sample characteristics and the questionnaire used. A correlation between BMI and BIS–11 scores was not found in a number of studies (Dietrich et al., 2014; Fields et al., 2013; Loeber et al., 2012; Simmank et al., 2015), but see also Yeomans, Leitch, and Mobini (2008) for a positive relationship between trait impulsivity and BMI. Other dimensions of impulsivity, such as a stronger discounting of delayed rewards and reward sensitivity, have been linked more consistently to obesity (e.g. Fields et al., 2013; Lawyer et al., 2015; Schag et al., 2012; Simmank et al., 2015; Weller, Cook, Avsar, & Cox, 2008).

Several interrelations between impulsivity and eating behavior have been described in the literature. High restraint eaters performed more impulsive in an SST (Nederkoorn, Van Eijs, & Jansen, 2004), but less impulsive in Go/NoGo Tasks (Leitch, Morgan, & Yeomans, 2013; Meule, Lukito, Vogeles, & Kubler, 2011a). In a number of studies, no systematic relationships were observed between restraint eating and impulsivity questionnaire scores (Lyke & Spinella, 2004; Yeomans et al., 2008). Different studies found a positive association between disinhibition and BIS–11 scores (Leitch et al., 2013; Lyke & Spinella, 2004; Yeomans et al., 2008). In female participants, Leitch et al., (2013) found no relationships between disinhibition and impulsive behavior in the Delay Discounting and the Go/NoGo Task, while Yeomans et al., (2008) observed that women who scored higher in disinhibition acted more impulsively in a Delay Discounting task. Interestingly, in a later study the authors show that this relationship was dependent on context, with stronger relations when food cues were presented prior to the task compared to the presentation of neutral cues (Yeomans & Brace, 2015). In a sample of lean and obese participants, Simmank et al., (2015) found a positive correlation between disinhibition and delay discounting, but for obese participants only. Thus, the precise link between different dimensions of impulsivity and eating behavior, their (joint) impact on obesity, and the potential interaction with external food cues, still remain an open question.

In the presented study, we investigated obesity- and gender-related behavioral alterations in response inhibition both within and outside of the food context, taking into account eating behavior and trait impulsivity as additional factors. Women and men with and without obesity performed a Food Stop Signal Task where high

caloric, low caloric and neutral pictures were presented immediately before the Go signal. Palatability of the presented pictures was rated prior to the SST to assess inter-individual preferences for the two food categories and to individually choose highly palatable food items that provided the food context in the subsequent SST. Based on the findings outlined above we tested the following hypotheses: (1) Regarding weight status, we hypothesized a reduced capacity for response inhibition in participants with obesity, reflected in longer SSRTs compared to lean participants in the food context, especially for high caloric pictures. In contrast, we expected no obesity-related effects in a non-food context. (2) Given the differential processing of food in men and women, together with established social pressure on healthy eating in women, we expected, in particular, shorter SSRTs in response to high caloric food images in women compared to men, with no differences in a non-food context. (3) Related to that, we hypothesized shorter SSRTs in the high caloric compared to the low caloric context specifically in women, along with higher palatability rating for low than for high caloric food items in women. No such differences or even a reversed pattern would be expected in men. (4) Finally, we expected self-reported eating behavior, in particular the FEV subscales cognitive restraint and disinhibition, as well as trait impulsivity to have at least a moderating effect on the relationship between BMI and response inhibition, without *a priori* predictions about strength and direction of such effects, given the heterogeneity of previous findings.

2. Methods

2.1. Participants

37 obese (BMI ≥ 30 , < 40 , 18 female) and 33 lean (BMI ≥ 18.5 , ≤ 25 , 17 female) Caucasian participants, aged between 18 and 35 years, were initially invited to our experiment. The two groups were matched for age and level of education. For the latter we chose years of scholastic education as a comparable objective variable. All but two participants finished at least 12 years of scholastic education, which in the German educational system is the prerequisite to enter university to receive higher education. Two participants finished secondary school after 10 years followed by vocational training, which represents the second highest level of scholastic education. All participants were right-handed and had normal or corrected-to-normal vision. Participants were recruited from the subject database of the Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences, Leipzig, Germany. All participants provided written informed consent prior to participation. The study complies with the ethical standards of the Declaration of Helsinki and was approved by the ethics committee of the University of Leipzig.

Exclusion criteria were a history of neurological or neuropsychiatric disorders, thyroid dysfunction, smoking, recent or current dieting, any kind of eating disorders, stuttering, color vision deficiency, and regular drug use except for hypertension medication and oral contraceptives. As some of the task stimuli depicted meat or fish, milk products and fruits, we further excluded vegetarians, vegans, and people with any kind of known food intolerance.

Upon participation, one participant was excluded because of depressive symptoms (Beck's Depression Inventory, BDI > 18). Further, 13 participants had to be excluded after the measurements because their obtained data violated one or more criteria that have previously been shown to ensure reliable SSRT estimation (Congdon et al., 2012). Details of these exclusion criteria are described below. Thus, our final sample consisted of 56 participants (mean age: 26.38 years; SD: 3.57) including 26 participants with obesity (BMI = 34.30 ± 2.30 kg/m², range 30.2 kg/m² to 39.8 kg/m²,

13 female) and 30 normal weight controls (BMI = 21.83 ± 1.85 kg/m², range 18.65 kg/m² to 25.3 kg/m², 14 female). Note that while exclusion rate was higher in the obese than lean group, the applied exclusion criteria were not systematically related to weight status.

2.2. Food Picture Rating Task

Prior to the Food Stop Signal Task, every participant rated a total of 210 high and low caloric food pictures according to individual palatability. Only food items that were clearly perceived as high caloric (e.g. sweets, cake, burgers) or low caloric (e.g. vegetables, fruit, yoghurt) by several experts and non-experts were used in the task. Rating was performed to (1) assess general attitude towards high and low caloric food items across subject groups and (2) choose, for each subject individually, palatable food items as stimuli in the subsequent Food SST. Pictures of food items were presented on a computer screen and were matched for visual properties like size and background. Participants were asked to rate each item spontaneously on a scale from 1 to 4 (not palatable at all, not so palatable, quite palatable, very palatable). Pictures from the two categories were presented in pseudo-randomized order. If subjects did not respond to a picture within 3 s, the picture was presented later on again. This way, we ensured that every picture was rated.

After the participant had completed the rating, 50 pictures of high and 50 pictures of low caloric items, individually matched for palatability, were selected. Selection was performed by randomly choosing the same number of high and low caloric items from the highest ratings on the palatability scale, until all pictures from one of the two categories with the maximum rating were selected. If at least one of the categories contained less than 50 pictures, selection was continued from pictures with the second and then the third

highest rating, until 50 high caloric and 50 low caloric pictures were chosen. This selection procedure resulted in 50 high caloric and 50 low caloric items that comprised the same number of equally rated items in both food categories. This ensured that any within-subject effect in the subsequent Food SST, i.e. an effect of picture category on SSRT, was not simply caused by the fact that items presented in one food category had a higher impact on a participant's performance than items in the other category, because she or he found them more palatable.

2.3. Food Stop Signal Task

The Stop Signal Task was originally developed by Logan and colleagues (Logan & Cowan, 1984) to assess an individual's capacity to inhibit an already initiated response. We adapted this task to systematically investigate the influence of high and low caloric food on individuals' inhibitory control capacity. Our Food SST consisted of two trial types: the more frequent 'Go' trials and the less frequent 'Stop' trials. Each trial started with a white fixation cross on a black screen for 500 ms. Then a picture randomly chosen out of three different picture categories (high caloric food items, low caloric food items or neutral images of chairs and tables) was presented for 500 ms, followed by an arrow that pointed in the left or right direction (see Fig. 1). Low and high caloric food pictures were matched according to palatability for each subject individually as described above. During Go trials, participants had to press the response button of a key pad in their left or right hand with the index finger to indicate the direction of the presented arrow. Participants were instructed to respond as fast and accurate as possible within a time window of 700 ms. If the response time exceeded this time window, the words 'Zu langsam!' (too slow) appeared on the

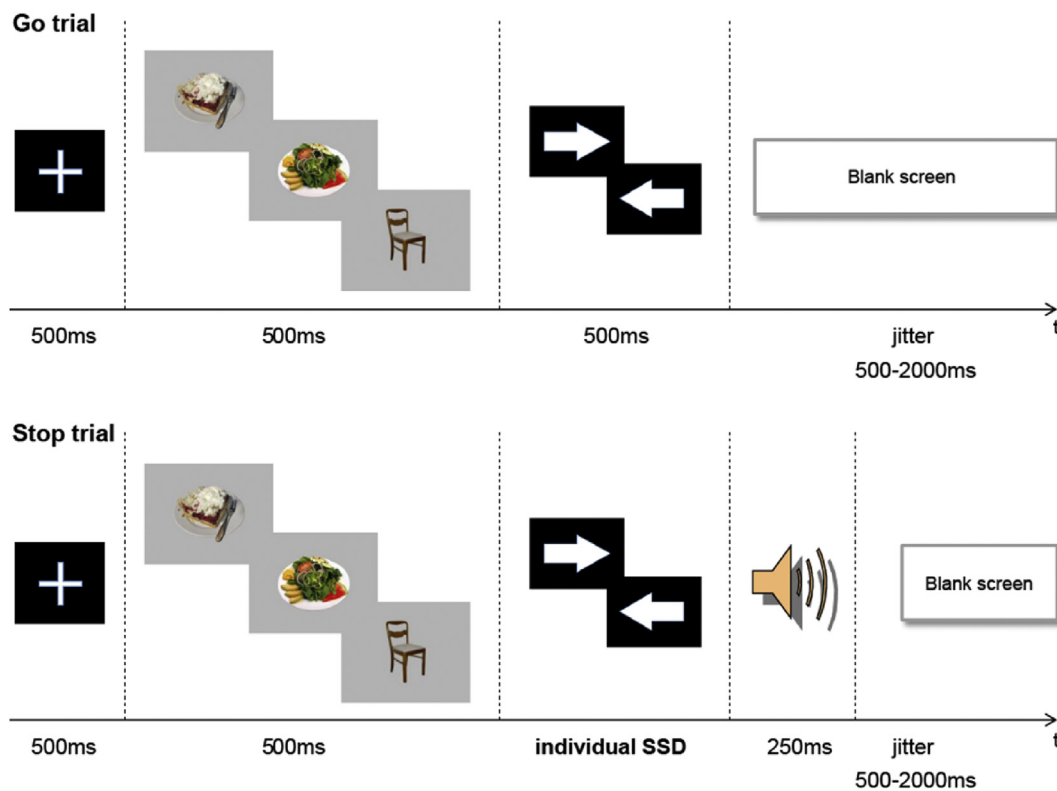


Fig. 1. Experimental paradigm. Go trials (top) and Stop trials (bottom) started with a fixation cross followed by the presentation of either a high caloric, a low caloric or a non-food picture. The subsequent Go signal consisted of an arrow pointing to the left or the right. Participants were asked to press a button with the corresponding left or right hand as quickly and accurately as possible. In Stop trials, the Go signal was followed by an auditory Stop signal after an individually adjusted Stop Signal Delay (SSD), in which case participants were asked to withhold their response.

screen and the trial was recorded as an error trial. If the subject responded in time but with the wrong key, the trial was also recorded as an error trial. In Stop trials (1/3 of all trials), an auditory Stop signal was presented through loudspeakers and subjects had to withhold their response.

The task consisted of 600 trials in total, 200 trials per picture category. Trials were separated by a pseudo-randomized inter-trial-interval of 500, 1000, 1500 or 2000 ms. After 200 and 400 trials, subjects were allowed a 30 s break to relax their hands. The entire task lasted for approximately 40 min. Stop and Go trials, the expected response side, and picture categories were presented in pseudo-randomized order and counterbalanced against each other. Within each picture category, pictures were selected at random such that every picture appeared four times throughout the task. To familiarize participants with the task, they first performed 20 practice trials including both Stop and Go trials. The experimenter was present during this time to ensure that the participant understood the instructions and was able to ask questions for clarification. Pictures presented for practice were different from the ones used in the subsequent measurements.

For each participant, the Stop Signal Delay (SSD), i.e. the delay between the Go stimulus (arrow) and the Stop signal (auditory tone), was dynamically adjusted according to a staircase procedure to ensure convergence of participants' probability for successful inhibition to $p(\text{inhibit}) = 0.5$. This way, Stop Signal Reaction Times (SSRT) can be reliably estimated according to the independent race model (Logan & Cowan, 1984). SSD was initially set to 250 ms and was adjusted separately for the three conditions. Specifically, if $p(\text{inhibit})$ of prior Stop trials in the present condition was higher than 0.5, then SSD was raised by 50 ms. If $p(\text{inhibit})$ was lower than 0.5, SSD was reduced by 50 ms.

Participants were explicitly instructed that it is equally important to respond accurately and as fast as possible to the Go stimulus and to try to withhold the response after a Stop signal, despite the fact that the latter will not always be possible.

2.4. Experimental procedure

When invited, participants were instructed to refrain from eating for at least 1 h before participation time. Upon arrival, subjects first performed the Food Picture Rating Task on a computer screen. This was followed by the Food SST. When finished, participants completed a battery of personality and eating-related questionnaires. At the end of the experiment, participants' current height and weight were assessed using a wall-mounted double meter stick and a digital scale, respectively. The entire experiment last for approximately 1.5 h. Participants received reimbursement of 7 Euros per hour.

2.5. Evaluation of questionnaires

The German version of Beck's Depression Inventory (BDI II; Kühner, Bürger, Keller, & Hautzinger, 2007) was applied to assess participants' depression symptoms. Data from one subject exceeding a BDI score of 18 was excluded from further analysis.

Trait impulsivity was assessed with the German version of the Barratt Impulsiveness Scale Version 11 (BIS-11; Preuss et al., 2008). The BIS-11 is a 30-item self-reported questionnaire that comprises the three subscales Motor impulsiveness (11 items), Non-planning impulsiveness (11 items) and Attentional impulsiveness (8 items) where higher scores reflect more impulsive behavior (Patton et al., 1995). The BIS-11 has been used previously to contrast trait impulsivity and eating behavior (Leitch et al., 2013; Lyke & Spinella, 2004; Yeomans et al., 2008). As the factor structure of the original BIS-11 could not be confirmed for the three subscales in the

German version, we only assessed the total score, as it shows adequate internal consistency for German-speaking regions (Preuss et al., 2008).

Participants' eating behavior was assessed by means of the 'Fragebogen zum Essverhalten' (FEV; Pudel & Westenhoefer, 1989), the German version of the three factor eating questionnaire (TFEQ; Stunkard & Messick, 1985). This self-rating questionnaire comprises 51 items and covers three subscales of human eating behavior: cognitive restraint of eating (21 items), disinhibition (16 items) and susceptibility to hunger (14 items), which capture the intent to control food intake, the tendency to overeat, and the food intake in response to hunger feelings, respectively.

2.6. Evaluation of picture rating

To evaluate individual preferences for high or low caloric food, a weighted sum score of the rated high caloric and low caloric food pictures was calculated as follows:

$$\text{high_sum} = (-2 \times \#scale_1 - \#scale_2 + \#scale_3 + 2 \times \#scale_4) / \#pics,$$

where $\#scale_i$ refers to the number of pictures rated as 'i' on the scale from 1 'not palatable at all' to 4 'very palatable', and $\#pics$ is the overall number of high caloric food pictures rated. The sum score low_sum was calculated accordingly. This way, the number of pictures rated as 'not palatable at all' and as 'not so palatable' are weighted against the number of pictures rated as 'quite palatable' and 'very palatable' within each food category with larger impact of the scores at both ends of the scale than the middle ones. Large positive values of this sum score would indicate a general liking of this food category and a difference between $high_sum$ and low_sum would indicate a preference for one food category over the other.

Although high and low caloric food pictures that were presented in the Food SST were matched for palatability ratings, a general preference for high or low caloric food might still impact on performance in the SST. To control for this potential influence in the subsequent analyses, a second sum score was calculated to serve as regressor in the analysis of the Food Stop Signal Task. Because only the highest rated pictures in each category were included in the Food Stop Signal Task, this second score should not weigh the lower rated pictures against the higher rated ones as in the previous score. Rather, it should emphasize higher rated pictures that most likely served as stimuli in the SST while minimizing the impact of lower rated ones. We thus calculated the weighted sum $high_included$ as sum of all ratings over all pictures in the high caloric category:

$$\text{high_included} = \#scale_1 + 2 \times \#scale_2 + 3 \times \#scale_3 + 4 \times \#scale_4.$$

The sum score $low_included$ was calculated accordingly. Large positive values of this sum score again indicate a general liking of this food category and the difference $diff_included = high_included - low_included$ again indicates a preference for one food category over the other, but this time with particular emphasis on the pictures that were rated quite or very palatable. The term $diff_included$ was used as regressor in the SST data analysis. This way, we ensured that any *between-subject effect* in the subsequent statistical analysis, i.e. a main effect of group on SSRT or a group \times picture category interaction, was not simply caused by a preference of one food category over the other in any of the participant groups.

2.7. Data modelling of the Stop Signal Task

Response times were analyzed according to the independent race model (Band, van der Molen, & Logan, 2003; Logan & Cowan, 1984). The model assumes that two independent go and stop processes race against each other to determine whether a response is executed or successfully inhibited. While response times in Go trials (Go RT) can be measured directly, Stop Signal Reaction times (SSRT), i.e. the duration of the stop process, are not observable. However, under the independent race model they can be estimated from the difference between SSD and Go RT (Logan & Cowan, 1984).

Median Go RTs were calculated for each subject and picture category separately. Go RTs exceeding $2.5 \times$ standard deviations of the overall mean response time (2.16% of all response trials) were disregarded as outliers prior to statistical analysis. As SSD was varied to yield for each subject and picture category $p(\text{inhibit}) = 0.5$, SSRTs could be estimated for each subject and picture category independently by subtracting average SSD from median Go RT (Aron & Poldrack, 2006; Band et al., 2003). To ensure sufficient data quality, each participant's data were assessed according to the following four pre-defined inclusion criteria: (1) Percent inhibition on Stop trials between 25% and 75%; (2) Percent Go response more than 60%; (3) Percent Go Errors smaller than 10%; and (4) positive SSRT estimates that exceed 50 ms. These criteria were previously shown to yield reliable SSRT estimates without excluding too many participants (Congdon et al., 2012). Thus, participants not meeting all four criteria were excluded from further analysis. In our initial sample, all subjects fulfilled criteria (1) to (3). However, 13 subjects had to be excluded due to SSRT estimations of less than 50 ms in at least one experimental condition.

2.8. Statistical analysis

All statistical analyses were performed using IBM SPSS Statistics 22.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) with significance level of $p < 0.05$ for all statistical tests.

Group differences (lean/obese, female/male) in demographic data, questionnaire scores, food rating scores and SST error rates were analyzed by independent samples *t*-tests for normally distributed data. For these cases, we report mean and standard deviation of the data. Mann-Whitney U tests were applied when the assumption of normality was violated as assessed by Shapiro-Wilk test, in which case we report medians of the data. Gender distribution and education across groups of lean and obese participants were analyzed by Chi square and Fisher's exact test, respectively. Across participants, food rating scores for high and low caloric food were compared using paired samples *t*-tests. SST error rates were compared across experimental conditions by related samples Friedman's Two-Way Analysis of Variance by Ranks for three and Wilcoxon signed rank tests for two conditions, respectively. Bivariate correlations between questionnaire scores, rating scores, BMI, Go RTs and SSRTs were determined by Pearson's correlation coefficient.

Go RTs and SSRTs were each analyzed in two separate repeated measures ANCOVAs with picture category as within-subject factor and gender and obesity as between-subject factors. The first analysis included all three picture categories. Trait impulsivity (BIS-11 score) was included as covariate of interest, as this might generally influence participants' response behavior. The second analysis was restricted to the two food picture categories. This enabled us to specifically control for the observed group differences in eating behavior and in the Food Picture Rating Tasks by including FEV subscale 'disinhibition' and the difference score in rating of high and low caloric food pictures as covariates. In favor of maximizing

statistical power of our dataset, FEV subscales 'cognitive restraint' and 'susceptibility to hunger' were not included in this analysis, as we did not observe any differences in these scores with respect to the factors gender and obesity in our sample. However, as age is known to impact on reaction times, it was included as covariate of no interest in all analyses. For all repeated measures ANCOVAs, covariates were mean centered prior to inclusion, and degrees of freedom were adjusted using Greenhouse-Geisser correction, if the assumption of sphericity was violated. *Post-hoc* evaluations of the origin and direction of interaction effects were based on estimated marginal means (EMM), in which case we report EMM and standard error (SE), and Bonferroni corrected for multiple comparisons.

Finally, a moderating effect of trait impulsivity and eating behavior on the influence of BMI on response inhibition was tested. Moderation analysis was performed using the SPSS toolbox PROCES (Hayes, 2013, chap. 7) with BMI as predictor *X*, BIS-11 score or FEV subscales restraint and disinhibition as moderator *M* and SSRT as dependent variable *Y*. Age and gender were included as factors of no interest. The Johnson-Neyman technique (Johnson & Fay, 1950) was used to determine moderator values that define regions of significance for the conditional effect of *X* on *Y*. Effects were regarded significant at a Bonferroni corrected α -level of 0.016, thus accounting for the three moderation analyses performed within each food category. In the absence of food-related items in the neutral condition, moderation analysis was only performed for trait impulsivity. Note that correction for multiple comparisons was not performed across conditions, because SSRTs are highly dependent across conditions, in which case global correction raises the likelihood of excessive Type II errors.

3. Results

3.1. Demographics and questionnaires

Descriptive statistics of participants' demographic characteristics and questionnaire scores together with the applied statistical tests are reported in Table 1. Lean and obese participants did not differ with respect to age, educational background, gender distribution, trait impulsivity as well as the FEV subscales cognitive restraint and hunger. As intended, lean and obese participants significantly differed in BMI (lean: 21.8 ± 1.85 , obese 34.3 ± 2.30 , $p < 0.0001$). We further observed a significant difference in the FEV subscale disinhibition with smaller values in lean compared to obese participants (lean: 3.9 ± 2.94 , obese: 7.15 ± 3.90 , $p = 0.001$). An obesity \times gender interaction effect on the FEV disinhibition scale was significant at the trend level ($F(1,52) = 3.18$, $p = 0.053$), suggesting that the observed obesity effect was driven by higher disinhibition primarily in obese women. No group differences with respect to the factor gender and no further gender \times obesity interactions on questionnaire scores were observed.

Across participants, BIS-11 total scores were positively correlated with the FEV subscale disinhibition ($r = 0.346$; $p < 0.01$) and hunger ($r = 0.343$; $p < 0.01$). Additionally, FEV subscale disinhibition was positively correlated with FEV subscale hunger ($r = 0.559$; $p < 0.001$). No significant correlations could be found between FEV subscale restraint and any other questionnaire measurements (Table 2).

Questionnaire scores did not correlate with Go RTs and SSRTs of the subsequent SST. Thus, independent of other between-subject effects, personality traits and self-reported eating behavior *per se* were not systematically and directly related to SSRT in both the food and non-food context. Finally, within the groups of lean and obese participants, questionnaire scores did not significantly correlate with BMI.

Table 1
Descriptive statistics of participants.

	Female lean	Male lean	Female obese	Male obese	Factor obesity		Factor gender	
					Test statistic	p	Test statistic	p
% higher education	100	100	100	85	– ^c	0.21	– ^c	0.49
Age	26.21 (3.49)	25.63 (2.96)	27.08 (4.2)	26.77 (3.86)	–1.072 ^a	0.29	–0.512 ^a	0.61
BMI	21.55 (1.62)	22.09 (2.05)	33.64 (2.14)	34.97 (2.34)	–22.47 ^a	4.5e ^{–27}	363.5 ^b	0.65
FEV cognitive restraint score	7.86 (5.78)	5.25 (4.16)	8.31 (3.64)	7.46 (5.24)	–1.106 ^a	0.274	–1.443 ^a	0.155
FEV disinhibition score	3.79 (2.83)	4.00 (3.12)	8.77 (3.92)	5.54 (3.26)	–3.555 ^a	0.001	–1.504 ^a	0.138
FEV hunger score	3.86 (2.98)	6.63 (3.79)	5.46 (3.82)	5.08 (4.41)	0.062 ^a	0.951	1.285 ^a	0.204
BIS-11 total score	59.36 (5.89)	60.5 (7.34)	62.15 (9.03)	61.08 (7.83)	–0.827 ^a	0.412	0.027 ^a	0.978

Note: Distribution of age, gender, body mass index (BMI), level of education (higher education of 12 years or more), self-reported eating behavior (FEV) and impulsivity (BIS-11) in the included sample. Values represent mean and standard deviation except for BMI distribution in the female and male group, where we report median [min, max]. Significant values $p < 0.05$ are printed in bold.

^a Independent sample *t*-test.

^b Mann – Whitney U test.

^c Fisher's exact test.

Table 2
Correlations between questionnaire measures.

	BIS-11	FEV restraint	FEV disinhibition	FEV hunger
BIS-11	1.0			
FEV restraint	–0.232	1.0		
FEV disinhibition	0.346**	0.116	1.0	
FEV hunger	0.343**	–0.107	0.559***	1.0

** $p < 0.01$.

*** $p < 0.001$.

3.2. Food Picture Rating Task

Rating scores from the Food Picture Rating Task were analyzed first with respect to general differences between high and low caloric pictures and second, for each food category, with respect to the factors gender and obesity. Across all participants, weighted summed palatability scores for high and low caloric images significantly differed with an overall higher rating of low caloric compared to high caloric food (high: -0.14 ± 0.64 , low: 0.40 ± 0.59 , paired sample $t(55) = 5.23$, $p = 3 \times 10^{-6}$). With respect to the factor gender, we observed for low caloric food a significantly higher rating for women than for men (women: 0.52 ± 0.51 , men: 0.25 ± 0.62 , independent sample $t(54) = 2.01$, $p = 0.05$, see Fig. 2). This was driven by a significantly lower number of low caloric pictures that were rated as 'not so palatable' (women: 23.59, men: 33.07, independent sample Mann-Whitney $U = 259.0$, $p = 0.03$) and a significantly higher number rated as 'very palatable' (women: 33.43, men: 23.91, $U = 524.5$, $p = 0.029$) in women compared to men. No gender difference was observed for high caloric food ($p = 0.47$). No effect on the food picture rating was found for the factor obesity. Finally, weighted summed palatability scores for high and low caloric images did not correlate with Go RT and SSRT in the respective food conditions of the subsequent SST. Thus, general liking of high and low caloric food did not influence performance in the SST.

3.3. SST error rates, Go RTs and SSRTs

Median Go RT, mean SSD and median estimated SSRT for the three different picture categories and the two factors obesity and gender are shown in Table 3. Subjects made very few discrimination errors, i.e. pressing the wrong button in Go trials (median: 1 trial). The number of discrimination errors did not differ between experimental conditions ($p = 0.185$) and across the factors gender and obesity (all $p > 0.18$). Errors due to too slow responses were considerably higher (median 14.5) and differed between

experimental conditions (median high: 5, low: 4, neutral: 7, $F(2) = 11.885$, $p = 0.003$) with more errors for neutral pictures compared to high caloric and compared to low caloric pictures ($z = 2.76$, $p = 0.006$ and $z = 3.03$, $p = 0.002$, respectively). Moreover, overall number of too slow responses differed between lean and obese participants with more errors in obese than lean participants (obese: 33.56, lean: 24.12, $U = 521.5$, $p = 0.032$). This was driven by significant differences between both groups in the low caloric (obese: 34.58, lean: 23.23, $U = 548.0$, $p = 0.009$) and the neutral condition (obese: 33.19, lean: 24.43, $U = 512.0$, $p = 0.045$), but number of too slow responses did not significantly differ between lean and obese participants in the high caloric picture condition ($p = 0.092$). No significant difference in number of too slow responses was observed for the factor gender.

As intended by the staircase procedure, across participants,

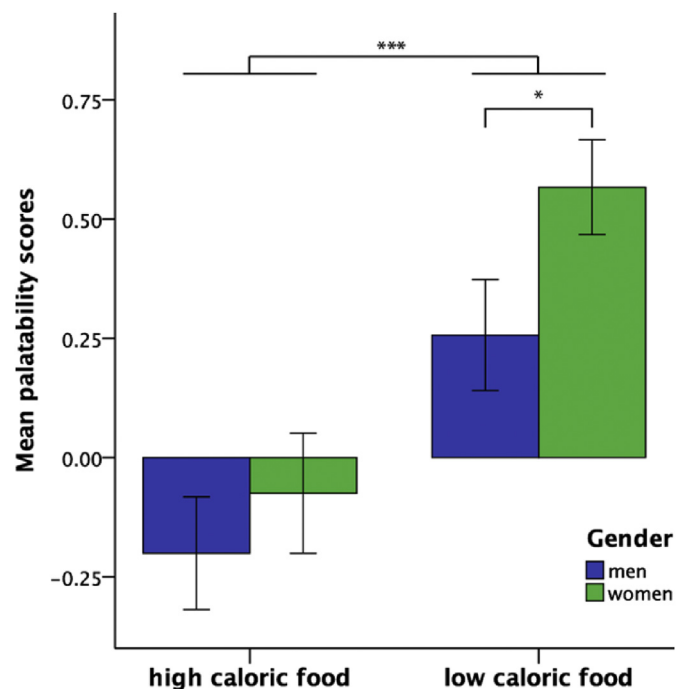


Fig. 2. Gender effect in rating of high and low caloric food items. Across participants, weighted summed palatability ratings for low caloric food were significantly higher than for high caloric food (** $p < 0.001$). With respect to the factor gender, we observed for low caloric food a significantly higher rating for women than for men (* $p = 0.05$). No effect was observed for the factor obesity. Error bars represent one standard error of the mean.

Table 3
Reaction times across groups and experimental conditions.

		Female lean	Male lean	Female obese	Male obese
Median correct Go RT (ms)	High	449.89 (84.41)	431.28 (75.03)	452.50 (61.68)	460.85 (61.07)
	Low	450.50 (81.86)	430.38 (75.61)	451.85 (66.61)	463.04 (61.25)
	Neutral	451.50 (86.43)	437.47 (72.93)	448.69 (65.34)	464.81 (63.34)
Mean SSD (ms)	High	322.08 (103.01)	301.72 (80.01)	321.09 (86.28)	288.65 (69.72)
	Low	296.49 (93.27)	299.95 (80.39)	303.21 (82.03)	311.09 (71.57)
	Neutral	307.62 (100.60)	292.92 (76.04)	304.30 (83.68)	310.51 (92.92)
Median SSRT (ms)	High	107.56 (41.09)	112.53 (40.85)	109.87 (37.59)	150.46 (61.60)
	Low	132.33 (34.99)	111.96 (42.95)	127.06 (42.83)	130.53 (35.98)
	Neutral	123.10 (44.75)	123.74 (48.50)	123.59 (38.84)	127.64 (48.12)

High: high caloric food category; low: low caloric food category; neutral: non-food category; RT = reaction time; SSD = stop signal delay; SSRT = stop signal reaction time.

probability to stop was very close to 50% (0.5 ± 0.02 in all three experimental conditions). Probability to stop did not differ across experimental conditions ($p = 0.29$) or subject groups (all $p > 0.20$). Further, across participants, SSD was comparable for high (308.27 ± 84.4), low (302.42 ± 80.2), and neutral pictures (302.31 ± 86.19 , $p = 0.345$) and did not differ between subject groups (cf. Table 3, all $p > 0.22$).

Go RT and SSRT were each analyzed in two separate analyses, the first including all three picture categories and trait impulsivity (BIS-11 score) as covariate. The second analysis was restricted to the two food picture categories. This enabled us to specifically control for observed group differences in eating behavior and in the Food Picture Rating Task by including FEV subscale disinhibition and the difference score in rating of presented high and low caloric food pictures as covariates.

In our overall analysis, median Go RT did not significantly differ across picture categories ($p = 0.46$) and the factors gender ($p = 0.15$) and obesity ($p = 0.42$). We did not find any significant interactions, and trait impulsivity did not significantly impact on the results (all $p = 0.58$). Go RT also did not significantly differ between food conditions and the factors gender and obesity in the food-specific second analysis, and the FEV disinhibition score as well as the picture rating score did not significantly impact on the results (all $p > 0.49$).

SSRT was first analyzed comparing all three picture categories as repeated measures. Across all participants, SSRTs did not differ between the three picture categories ($p = 0.55$). However, we observed a significant gender \times category interaction ($F(1.65,82.25) = 3.96$, $p = 0.03$). Pairwise *post-hoc* comparisons based on estimated marginal means revealed that the interaction was driven by significantly shorter SSRTs for high caloric food pictures (EMM: 108.45, SE: 8.99) compared to low caloric food pictures (EMM: 129.45, SE: 7.55, $p = 0.05$) in women, but not in men ($p = 0.68$). Further, we observed higher SSRTs for high caloric food pictures in men (EMM: 131.69, SE: 8.70) compared to women (EMM: 108.45, SE: 8.99, $p = 0.06$) with statistical significance at the trend level. SSRTs for neutral pictures did not differ across genders ($p = 0.77$). Moreover, SSRTs did not differ between obese and lean participants across the three picture categories ($p = 0.26$), nor in interaction of the factor obesity with gender ($p = 0.35$). Importantly, trait impulsivity did not have a significant direct influence on the results of this repeated measures analysis ($p = 0.32$).

Results for the general model were further corroborated in our second, food-specific analysis which, in contrast to the general model, controlled for food-specific group differences observed in questionnaire assessment and the Food Picture Rating Task. Across participants, SSRTs did not differ between the two food categories ($p = 0.67$), but the analysis revealed a significant gender effect ($F(1,49) = 9.3$, $p = 0.004$, see Fig 3). Pairwise *post-hoc* comparisons of EEMs revealed that the interaction was driven by significantly

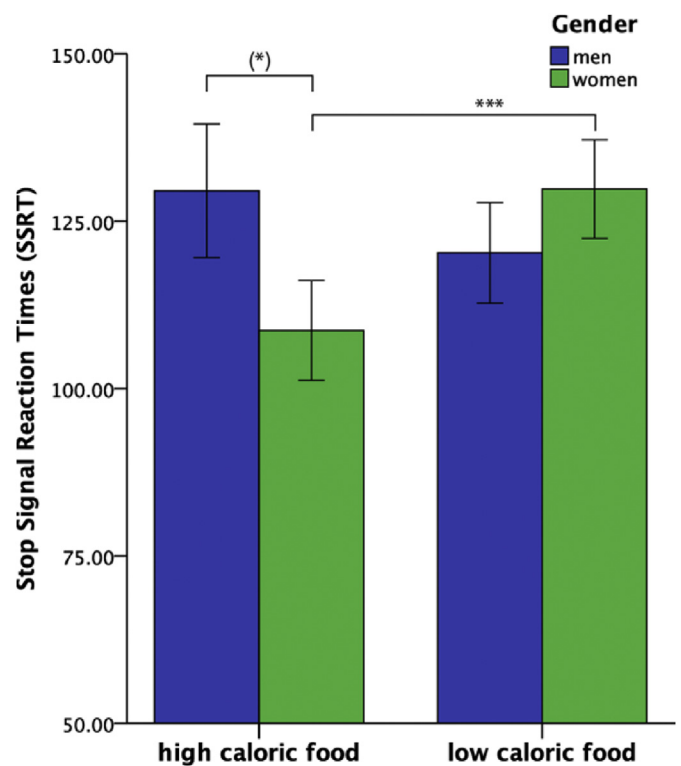


Fig. 3. Gender \times food category interaction in SSRT. Across participants, SSRTs did not differ between Stop trials following the presentation of high and low caloric food pictures ($p = 0.67$), but the repeated measures analysis revealed a significant gender \times food category interaction ($p = 0.004$). This was driven by significantly shorter SSRTs for high caloric food pictures compared to low caloric food pictures in women ($***p = 0.007$) but not in men. In the high caloric context, longer SSRT were observed for men compared to women at a statistical trend level: (* $p = 0.062$). Error bars represent one standard error of the mean.

shorter SSRTs for high caloric food pictures (EMM: 107.69, SE: 9.18) compared to low caloric food pictures (EMM: 131.89, SE: 7.77, $p = 0.007$) in women, but not in men ($p = 0.127$). Again, SSRTs were longer for high caloric food pictures in men (EMM: 132.38, SE: 8.83) than in women with statistical significance at the trend level ($p = 0.062$). Importantly, FEV subscale disinhibition and the particular rating of the included food items (diff_included) did not significantly influence the results, despite the observed group differences of disinhibition between lean and obese participants and the group differences in general liking of low caloric images between men and women. Again, no significant effects were observed for the factor obesity ($p = 0.71$) or the gender \times obesity interaction ($p = 0.35$).

3.4. The influence of impulsivity and eating behavior

Finally, we investigated a possible moderation effect of trait impulsivity, disinhibited eating and restraint eating on the relationship of BMI and response inhibition measured by SSRT. The moderation effect of trait impulsivity was tested for all three picture categories, the effect of disinhibited and restraint eating for the two food-related picture categories only. Taking trait impulsivity as moderator in the high caloric food condition, the overall moderation model accounted for a significant amount of variation in SSRT ($R^2 = 0.194$, $F(3,52) = 4.166$, $p = 0.010$) with significant predictive power of both BMI (model coefficient $b = 22.58$, $p = 0.0046$) and trait impulsivity ($b = 9.92$, $p = 0.0131$). Most importantly, the model contained a significant trait impulsivity \times BMI interaction ($b = -0.3449$, $p = 0.009$) yielding a significant increase of explained variance ($\Delta R^2 = 0.114$, $F(1,52) = 7.359$, $p = 0.009$). The Johnson-Neyman technique revealed significant conditional effects of BMI on SSRT for BIS-11 scores smaller than 61.5 at α -level of 0.05 (uncorrected) and smaller than 59.0 at a Bonferroni-corrected α -level of 0.016, such that higher BMI was predictive of longer SSRT but only for subjects with low to normal trait impulsivity (Fig 4). For subjects with higher trait impulsivity, there was no significant conditional effect of BMI on SSRT. Controlling for age and gender in the moderation analysis did not change the effect, as the contribution of both factors to the overall model was not significant (both $p > 0.15$). No moderating effect of trait impulsivity was observed for the low caloric and neutral condition, and none of the moderation analyses assessing disinhibited and restraint eating yielded

significant results.

4. Discussion

The relationship of obesity and overeating to potential deficits in response inhibition in humans has been addressed in a substantial number of studies to date, yet with very heterogeneous results. As a recent review (Bartholdy et al., 2016) revealed, outside of the food context, the majority of studies could not identify a robust relationship between obesity and response inhibition, although some exceptions exist (e.g. Chamberlain et al., 2015). Within the food context, most previous studies focused on women and children, again with conflicting results (e.g. Houben et al., 2014; Meule et al., 2014).

Our study makes one step towards reconciling previous results. To the best of our knowledge, we present the first study that systematically assesses response inhibition (1) in men and women, (2) within and outside of the food context, and (3) distinguishing between high and low caloric food categories within a single experimental setting. Further, food stimuli are individualized according to palatability ratings, this way ensuring high relevance to the participants.

In line with our hypothesis, in the neutral context we observed no behavioral differences between participants with and without obesity. This supports the notion that individuals with obesity do not suffer from diminished response inhibition capacity *per se* (Bartholdy et al., 2016; Hendrick et al., 2012; Lawyer et al., 2015). Rather, the ability to withhold a response might crucially depend on situational factors and context. Potential deficits of response inhibition in obese individuals might be restricted to the food context and, most importantly, they might be related to stimulus saliency, motivation, and relevance of the food stimuli (Bartholdy et al., 2016). In fact, Appelhans (2009) proposed that hedonic eating and the overconsumption of palatable food, which is closely related to weight gain, result from a dominance of appetitive motivation towards food over inhibitory control processes.

Heightened appetitive motivation for food and increased responsiveness to food cues in obesity have been widely studied. In a recent meta-analysis, García-García et al. (2014) consistently found higher neural activation in obese compared with lean individuals in response to food reward, for example in amygdala and striatum, with some parallels to reward processing in addictive disorders. Neural responses to visual food cues differ depending on weight status, in particular for high caloric food, with higher BMI related to greater activation in reward processing brain regions (Pursey et al., 2014). Giesen, Havermans, Douven, Tekelenburg, and Jansen (2010) observed higher reinforcing values for snack food in obese as compared to normal weight individuals, even in the absence of differences in general liking of food. In a recent study, we investigated the adaptation of appetitive behavior with respect to changes in motivational value (Horstmann et al., 2015). While self-reported motivational value of food items after reward devaluation was not affected by BMI, higher compared to lower BMI in men was related to an attenuated behavioral adjustment to reward devaluation, possibly reflecting automatic overeating patterns that dominate inhibitory control processes.

While these observations would predict obesity-related effects of response inhibition within the food context, in our sample we did not find such effects. This is in contrast to some previous studies that showed longer SSRTs in food-related conditions associated with higher BMI in women and children (e.g. Houben et al., 2014). One possible explanation for this discrepancy lies in the way the food context was provided. In our study, participants only passively viewed the food pictures in wait for the Go signal, while some other studies (e.g. Houben et al., 2014) used the food pictures as actual

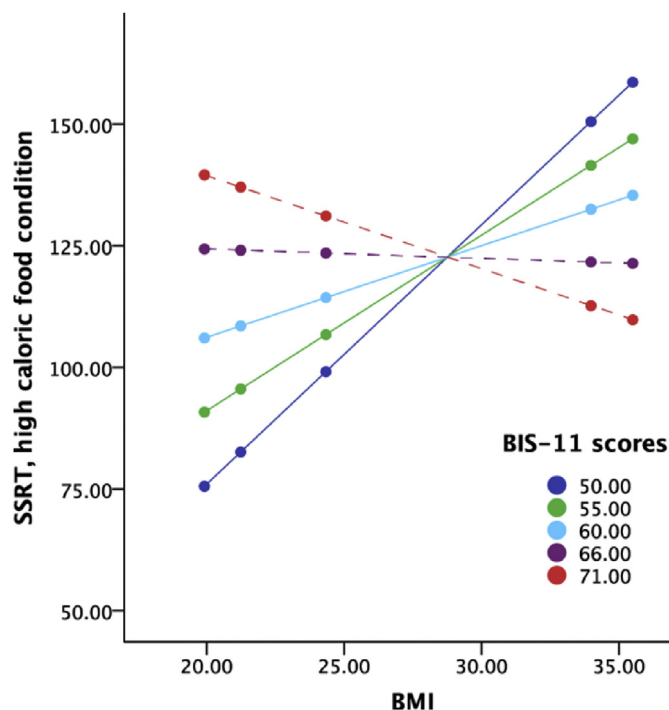


Fig. 4. Relationship between trait impulsivity, BMI and SSRT in response to high caloric food images. Moderation analysis for the high caloric food category revealed a linear relationship between BMI and SSRT that was moderated by BIS-11 scores with age and gender as covariates ($p = 0.009$). The conditional effects of BMI on SSRT were significant for BIS-11 scores smaller than 61.5 at $\alpha = 0.05$ (uncorrected) and 59.0 at a Bonferroni-corrected α -level of 0.016. Full lines mark significant conditional effects. Conditional effects plotted in dashed lines are not significant. Colors represent the 10th, 25th, 50th, 75th and 90th percentile of BIS-11 scores. Dots indicate the 10th, 25th, 50th, 75th and 90th percentile of BMI (19.92, 21.24, 24.34, 33.98 and 35.50 kg/m², respectively).

targets in the SST, making them more behaviorally relevant and emphasizing their motivational value. In addition, in our sample palatability ratings of the food pictures were comparable for lean and obese participants, pointing at comparable hedonic value of the presented visual food cues in both groups. This argues for the importance of behavioral relevance, motivational and hedonic value of food stimuli in the assessment of food-related response inhibition capacity.

Interestingly, despite the absence of a consistent relationship between weight status and SSRT, some studies report a positive correlation of food-related SSRT and food intake (see [Bartholdy et al., 2016](#) for review) or food craving ([Meule et al., 2014](#)). It might thus be speculated that increased SSRT in the food context points at a heightened vulnerability to food exposure or cue-triggered approach behavior. This is in line with a recent study by [Yeomans and Brace \(2015\)](#) who showed that young women prone to uncontrolled eating i.e. who exhibited high scores of disinhibited eating, showed a high tendency for impulsive behavior in several tasks, in particular after the exposure to external food cues. [Simmank et al. \(2015\)](#) showed that incidental rewarding cues influence economic decisions in a primed Delay Discounting Task, but only in participants with obesity. This is further supported by an internet-based study ([Nederkoorn, 2014](#)), where the authors observed a three way interaction: Overweight compared to lean participants bought more snack food at an online supermarket, but only in a condition with additional sales promotion for snack food and only when they showed comparably long SSRTs in a previously performed SST. In sum, these studies suggest that the exposure to food cues might enhance impulsive behavior in individuals with high vulnerability to external cues and an increased tendency for cue-triggered approach behavior, an effect that might in turn impact on eating behavior and subsequent weight gain.

Cue-triggered approach behavior is closely linked to the concept of impulsivity. Trait impulsivity was previously found to be related to obesity in some samples ([Yeomans et al., 2008](#)), but not in others including our own ([Dietrich et al., 2014](#); [Fields et al., 2013](#); [Loeber et al., 2012](#); [Simmank et al., 2015](#)). Linking trait impulsivity to food intake rather than weight status, [Guerrieri et al. \(2007\)](#) reported a significantly higher intake of sweet snacks in a bogus taste task for women with high compared to women with low BIS-11 scores. In contrast, there were no group differences in food intake, when splitting the same sample into two groups with high and low non-food related SSRT. [Wilbertz et al. \(2014\)](#) directly assessed the relationship of trait impulsivity to SSRT in a reward-related but not food-related SST. The authors observed neither behavioral nor neural differences in SSRT between participants with high and low trait impulsivity. In line with this, a direct effect of trait impulsivity on SSRT was not observed in our analysis. In contrast, generally high-impulsive individuals showed impaired response inhibition in a standard SST that was performed following real food exposure ([Lattimore & Mead, 2015](#)). Taken together, these results suggest that response inhibition capacity might explain weight status only in interaction with other factors like trait impulsivity.

As suggested by [Bartholdy et al. \(2016\)](#), lean and obese individuals with high general impulsivity and poor inhibitory control might be particularly vulnerable to high caloric food cues triggering unhealthy eating behavior. In the present study, we observed a moderating effect of trait impulsivity on the relationship between BMI and SSRT in trials that presented high caloric food pictures prior to the Go signal in the SST. In line with our hypothesis, higher BMI was predictive of longer SSRT, i.e. reduced inhibitory control, in the high caloric food context. However, this relationship was conditional on participants' self-reported trait impulsivity: The association of SSRT to BMI was observable for individuals with low to

normal trait impulsivity, while for individuals with higher trait impulsivity, SSRT was no longer associated with BMI. In other words, low to normal trait impulsivity does not preclude a reduced inhibitory control capacity in the food context that is associated with individuals' weight status. Our moderation analysis cannot provide a mechanistic explanation for this observation, but one might speculate that other facets of impulsivity, e.g. reward sensitivity or the inability to wait, which are partly captured by self-reported trait impulsivity, interfere with or mask the effect of inhibitory control capacity. From our results we would predict that different aspects of impulsive behavior might jointly be better predictors of individuals' susceptibility to food cues and associated weight gain than response inhibition alone. See, for example, [Schag et al. \(2012\)](#) for the relation of reward sensitivity to obesity and eating disorders. However, assessing this hypothesis requires different experimental approaches and must include additional aspects of impulsive behavior that were not covered in our experimental design.

While our data confirms the well-established correlation between trait impulsivity (BIS-11) and disinhibited eating (FEV disinhibition subscale), no direct or moderating effect of disinhibition on SSRT could be observed in our sample. Moreover, we did not find significant gender differences in any of the FEV subscales that were previously established in the literature or any hypothesized moderating effect of restraint eating on the relationship between BMI and response inhibition capacity. The absence of evidence for these relationships in our sample might be attributable to the relatively small sample size compared to some previous studies. Our sample might not have provided sufficient statistical power for these effects to become apparent. Thus, we can not rule out stronger relations of eating behavior to food-related response inhibition in relation to BMI than observed in our study.

To the best of our knowledge, we present the first study that systematically assessed the effect of gender on response inhibition both within and outside of the food context. We observed marked gender differences in SSRT in relation to food, but no influence of gender on SSRT in the non-food condition. Specifically, we found a gender \times food category interaction that was driven by (1) shorter SSRTs for high caloric food pictures compared to low caloric food pictures in women and (2) shorter SSRTs in high caloric food pictures in women compared to men. This fits well with previously reported gender differences in feeding behavior, reward-based learning, and food-related brain functioning. [Zhang, Manson, Schiller, and Levy \(2014\)](#) observed marked differences between obese men and women in associative learning within but not outside of the food context, whereby both BMI and TFEQ disinhibition scores were predictive of learning performance in the food context specifically in women. In women compared to men, images of high caloric food yield higher functional activation within cortical regions involved in behavioral control and self-referential cognition like dorsolateral prefrontal cortex and parietal cortex (e.g. [Cornier et al., 2010](#); [Killgore & Yurgelun-Todd, 2010](#)). It is well known that the parietal cortex and especially the dorsolateral prefrontal cortex play a key role in response inhibition ([Bari & Robbins, 2013](#); [Verbruggen & Logan, 2008](#); [Wilbertz et al., 2014](#)). Increased activation of response inhibition areas in women might signify heightened inhibitory control, in turn reflected in shorter SSRT, specifically in high caloric trials. In low caloric trials, no fortified inhibition against unhealthy and weight facilitative food is necessary, as low caloric food like vegetables and fruits are regarded as desirable and healthy.

Increased food-related inhibitory control processes in women are likely driven by social and cultural forces, at least in Western societies. Here, eating lightly as a way of achieving thinness is a part of the modern female stereotype and individuals described as

eating smaller meals are regarded more feminine and more physically attractive (see Vartanian, Herman, & Polivy, 2007 for a review). Women show a healthier pattern of food choice with stronger preference for low caloric food, especially vegetables and fruits (Logue & Smith, 1986; Rappoport, Peters, Downey, McCann, & Huff-Corzine, 1993). They have better nutritional knowledge and more motivation for weight control than men and report healthy food as more pleasurable (e.g. Herman & Polivy, 2010, pp. 455–469; Westenhoefer, 2005). In line with this, we observed in our sample significantly higher palatability ratings for low caloric food images in women compared to men. This likely reflects a strong internalization of social and cultural forces that promote healthy eating and a lean body particularly for women. In line with this, women commonly score higher than men in the cognitive restraint subscale of the TFEQ, a measure for the conscious restriction of food intake (e.g. Bellisle et al., 2004; Dietrich et al., 2014; Löffler et al., 2015; Provencher et al., 2004). Men, in contrast, generally report less body dissatisfaction, internalization of socio-cultural standards of beauty and drive for thinness (Yean et al., 2013), although in a recent study we observed that the willingness to invest physical effort for sweet snacks was negatively correlated with self-reported body dissatisfaction, specifically in obese men (Mathar, Horstmann, Pleger, Villringer, & Neumann, 2016).

On the other hand, women compared to men have been shown to score higher in the TFEQ subscale disinhibition governing the tendency to overeat (e.g. Bellisle et al., 2004; Dietrich et al., 2014; Löffler et al., 2015), and more often suffer from eating disorders or specific eating problems (Welch, Ghaderi, & Swenne, 2015; Yean et al., 2013). It has also been shown, both by self-report and experimentally, that women more often overeat when stressed. Then, women tend to prefer food which they normally avoid for weight-loss or health reasons, like chocolate (Oliver & Wardle, 1999; Zellner et al., 2006). In fact, restrained eating has been found to be a strong predictor of stress-induced eating (Greeno & Wing, 1994). Thus, while well-functioning inhibitory control processes enable women to limit their consumption of high caloric food under normal circumstances, under stress, inhibitory control appears to be reduced, potentially leading to overeating and subsequent weight gain.

In our assessment of response inhibition capacity we applied the Stop Signal Task, a common instrument to investigate inhibitory control in humans. Other studies used the Go/NoGo Task in a similar vein. Batterink et al. (2010) reported a negative correlation of BMI and response inhibition capacity in a food-related Go/NoGo Task in adolescent girls, along with reduced activation of frontal inhibitory regions in overweight and obese participants. In a similar paradigm, He et al. (2014) observed reduced inhibitory control in response to high caloric compared to low caloric food images in a sample of 30 lean and overweight participants. Again, BMI was negatively correlated to inhibitory control capacity and to functional activation in frontal brain regions. The apparent discrepancy to our findings might be attributable to the employment of different tasks. Despite seemingly subtle differences in task design, neuro-pharmacological and neuroanatomical evidence suggests that the SST and Go/NoGo Task represent different forms of action inhibition. Neuroimaging studies point at differential though partially overlapping networks activated by the two tasks: a frontoparietal network elicited by the Go/NoGo paradigm, and a cingulo-opercular network by the SST (Swick, Ashley, & Turken, 2011). Moreover, the neurotransmitter Serotonin seems to be more implicated in inhibitory control in the Go/NoGo Task, whereas Noradrenaline appears to play a crucial role in the SST (Eagle, Bari, & Robbin, 2008). Verbruggen and Logan (2008) suggest that the Go/NoGo Task with a consistent stimulus-stop-signal mapping targets automatic response inhibition. In contrast, the SST with varied

stimulus-stop-signal mappings elicits more controlled response inhibition that cannot develop over training. This might consolidate some conflicting results in both tasks and needs to be taken into account for the interpretation of seemingly divergent findings.

In the current study, we obtained palatability ratings for the high and low caloric food categories in general as well as for the individually chosen food stimuli in the SST. This enabled us to assess and account for potential inter-individual preferences for high and low caloric food. Our rating scale from 'not palatable at all' to 'very palatable' thereby refers to the concept of food *liking* which, in the context of food reward and obesity, should be discriminated from food *wanting* (e.g. Davis et al., 2009; Mela, 2006). Food liking is the pleasure resulting from anticipating or tasting of palatable foods, also referred to as 'palatability'. In contrast, food wanting is the motivation to eat a special food at a given point in time (Giesen et al., 2010; Mela, 2006). While in our sample none of the obtained palatability scores had an impact on the performance in the subsequent SST, we observed robust differences in liking for low caloric food between genders. However, we and other studies have failed to find differences between lean and obese individuals with respect to food liking (for review see Mela, 2006). In contrast, higher relative reinforcing values of snack foods have been observed for overweight and obese individuals compared to normal weight controls, even in the absence of differences in liking (Giesen et al., 2010; Saelens & Epstein, 1996). Thus, not explicitly taking into account the wanting of the presented food stimuli in the current study might have concealed a potential effect in response inhibition that at least interacts with weight status.

We would like to acknowledge a number of limitations of the current study. First, we used the German version of the BIS-11 for the assessment of trait impulsivity for our participants. As in this version, the factor structure of the original BIS-11 could not be confirmed for the three subscales, we were only able to assess the total BIS-11 score, as it shows adequate internal consistency for German-speaking regions (Preuss et al., 2008). The UPPS (Whiteside & Lynam, 2001) might be a useful alternative in future studies in German speaking populations. While BIS-11 and UPPS subscales appear to reflect different aspects of general impulsivity (Meule, Vögele, & Kübler, 2011b), the UPPS subscales were previously found to be associated with obesity (Mobbs et al., 2010) and the subscale 'urgency' best explained inter-individual variability in SSRT in a reward-related SST (Wilbertz et al., 2014).

Second, hunger in interaction with response inhibition was shown to influence food intake and food purchase in healthy-weight female participants (Nederkoorn, Guerrieri, Havermans, Roefs, & Jansen, 2009). Moreover, women were shown to have a reduced ability to inhibit their hunger feelings compared to men (Wang et al., 2009). Thus, hunger might be an additional factor to consider in the assessment of response inhibition capacity. In our study, we ensured comparable hunger states of participants by instructing them not to come hungry to our lab, but to refrain from eating for at least 1 h before participation time. Also, FEV subscale hunger did not differ between lean and obese participants or between genders. However, we did not formally assess participants' current state of hunger to include this factor in our analysis. Thus, it is possible that inter-individual differences in hunger or subjective feelings of hunger might have influenced our results. The same holds for participants' reward sensitivity and current feelings of chronic stress. While the complex interplay of all these factors and their joint influence on response inhibition might be hard to disentangle in an individual study, future studies on response inhibition should aim to control for these factors.

Third, we wish to acknowledge the relatively small sample size of our study, in particular with respect to the reported moderation analyses. These analyses were designed to assess the influence of

trait impulsivity and eating behavior on the association between BMI and SSRT. For this, BMI was used as continuous predictor variable across all 56 participants. Performing the analyses across all participants was necessary to ensure a sufficiently large sample, although at the cost of some missing values in the BMI range. While the observed moderation effect of trait impulsivity in the high caloric food condition was statistically robust, the relatively low statistical power of moderation analyses in general precluded a more detailed group-wise analysis in our sample. Thus, we can not rule out, for example, that the moderating effect of trait impulsivity on the BMI-SSRT association is driven by gender or is more prominent in the lean or obese group. Therefore, we regard the moderation analysis, in particular, as a first preliminary and rather exploratory investigation of the complex relationship between response inhibition, trait impulsivity, weight status and gender that leaves scope for future studies addressing this topic in larger samples across the full BMI range.

Finally, despite the lack of obesity-related behavioral effects in response inhibition, it might be worth exploring, by functional neuroimaging, potential obesity-related effects on response inhibition within the food context, as have been shown previously for lean and obese women in a non-food context, albeit with relatively low statistical power (Hendrick et al., 2012). This might foster our understanding of potential alterations in behavioral control processes related to eating behavior and obesity. The present study should provide a valuable source for the generation of hypotheses regarding neuro-functional effects as well as for replication of behavioral findings.

5. Conclusion

The present study systematically assessed response inhibition capacity of lean and obese men and women both within and outside of the food context. Our results show marked differences between genders for the high and low caloric food context in the absence of any differences in the non-food context. Women exhibited increased inhibitory control for high compared to low caloric food, together with a consistently higher palatability rating for low compared to high caloric food items. This points towards a strong impact of gender-specific socio-cultural norms on behavioral control related to food, i.e. an acquired increased response inhibition against high caloric food stimuli. Thus, therapeutic strategies based on behavioral adaptation need to take gender as an important factor into account. No direct association between weight status and response inhibition was observed both within and outside the food contexts. However, for high caloric food, in particular, trait impulsivity moderated the predictive value of BMI on response inhibition capacity. This supports the notion that individuals with obesity do not suffer from diminished response inhibition capacity *per se*. Rather, our ability to withhold a response inhibition depends on the context and situational factors. Importantly, the capacity to withhold a response to the exposure of (high caloric) food seems to interact closely with additional aspects of impulsive behavior. This needs to be taken into account, in particular, when considering an increased susceptibility to external food cues as potential factor that might drive overeating and subsequent weight gain.

Acknowledgements

We thank all participants involved in this study for their cooperation, Kieran Austin, Anke Theilemann, Bettina Johst, and Ramona Menger for their assistance in programming the paradigm, recruiting participants, data collection and analysis, Birte Forstmann for suggestions on the study design, and Isabel García-

García for helpful comments on earlier versions of the manuscript. This work was supported by the German Federal Ministry of Education and Research (FKZ: 01EO1001) (AV, AH, JN) and the German Research Foundation (SFB 1052-A5, Obesity mechanisms) (CM, AV, AH, JN). The authors declare that there are no conflicts of interest.

References

- Appelkans, B. M. (2009). Neurobehavioral inhibition of reward-driven feeding: Implications for dieting and obesity. *Obesity*, *17*(4), 640–647.
- Aron, A. R., & Poldrack, R. A. (2006). Cortical and subcortical contributions to stop signal response inhibition: Role of the subthalamic nucleus. *Journal of Neuroscience*, *26*(9), 2424–2433.
- Band, G. P. H., van der Molen, M. W., & Logan, G. D. (2003). Horse-race model simulations studies of the stop signal procedure. *Acta Psychologica*, *112*(2), 105–142.
- Bari, A., & Robbins, T. W. (2013). Inhibition and impulsivity: Behavioral and neural basis of response control. *Progress in Neurobiology*, *108*, 44–79.
- Bartholdy, S., Dalton, B., O'Daly, O. G., Campbell, I. C., & Schmidt, U. (2016). A systematic review of the relationship between eating, weight and inhibitory control using the stop signal task. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *64*, 35–62.
- Batterink, L., Yokum, S., & Stice, E. (2010). Body mass correlates inversely with inhibitory control in response to food among adolescent girls: An fMRI study. *Neuroimage*, *52*(4), 1696–1703.
- Bellisle, F., Clément, K., Le Barzic, M., Le Gall, A., Guy-Grand, B., & Basdevant, A. (2004). The eating inventory and body adiposity from leanness to massive obesity: A study of 2509 adults. *Obesity Research*, *12*(12), 2023–2030.
- Bryant, E. J., Kiezebrink, K., King, N. A., & Blundell, J. E. (2010). Interaction between disinhibition and restraint: Implications for body weight and eating disturbance. *Eating and Weight Disorders*, *15*(1–2), e43–51.
- Bryant, E. J., King, N. A., & Blundell, J. E. (2008). Disinhibition: Its effects on appetite and weight regulation. *Obesity Review*, *9*(5), 409–419.
- Caswell, A. J., Bond, R., Duka, T., & Morgan, M. J. (2015). Further evidence of the heterogeneous nature of impulsivity. *Personality and Individual Differences*, *76*, 68–74.
- Chamberlain, S. R., Derbyshire, K. L., Leppink, E., & Grant, J. E. (2015). Obesity and dissociable forms of impulsivity in young adults. *CNS Spectrums*, *20*(5), 500–507.
- Congdon, E., Mumford, J. A., Cohen, J. R., Galvan, A., Canli, T., & Poldrack, R. A. (2012). Measurement and reliability of response inhibition. *Frontiers in Psychology*, *3*, 37.
- Cornier, M. A., Salzberg, A. K., Endly, D. C., Bessesen, D. H., & Tregellas, J. R. (2010). Sex-based differences in the behavioral and neuronal responses to food. *Physiology & Behavior*, *99*(4), 538–543.
- Cosgrove, K. P., Mazure, C. M., & Staley, J. K. (2007). Evolving knowledge of sex differences in brain structure, function, and chemistry. *Biological Psychiatry*, *62*(8), 847–855.
- Crosbie, J., Arnold, P., Paterson, A., Swanson, J., Dupuis, A., Li, X., et al. (2013). Response inhibition and ADHD traits: Correlates and heritability in a community sample. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *41*(3), 497–507.
- Davis, C. A., Levitan, R. D., Reid, C., Carter, J. C., Kaplan, A. S., Patte, K. A., et al. (2009). Dopamine for “wanting” and opioids for “liking”: A comparison of obese adults with and without binge eating. *Obesity*, *17*(6), 1220–1225.
- Dietrich, A., Federbusch, M., Grellmann, C., Villringer, A., & Horstmann, A. (2014). Body weight status, eating behavior, sensitivity to reward/punishment, and gender: Relationships and interdependencies. *Frontiers in Psychology*, *5*, 1073.
- Eagle, D., Bari, A., & Robbins, T. W. (2008). The neuropsychopharmacology of action inhibition: Cross-species translation of the stop-signal and go/no-go tasks. *Psychopharmacology*, *199*(3), 439–456.
- Evans, K. L., & Hampson, E. (2015). Sex-dependent effects on tasks assessing reinforcement learning and interference inhibition. *Frontiers in Psychology*, *6*, 1044.
- Evenden, J. L. (1999). Varieties of impulsivity. *Psychopharmacology*, *146*(4), 348–361.
- Fields, S. A., Sabet, M., & Reynolds, B. (2013). Dimensions of impulsive behavior in obese, overweight, and health-weight adolescents. *Appetite*, *70*, 60–66.
- French, S. A., Epstein, L. H., Jeffery, R. W., Blundell, J. E., & Wardle, J. (2012). Eating behavior dimensions. Associations with energy intake and body weight. A review. *Appetite*, *59*(2), 541–549.
- García-García, I., Horstmann, A., Jurado, M. A., Garolera, M., Chaudhry, S. J., Margulies, D. S., et al. (2014). Reward processing in obesity, substance addiction and non-substance addiction. *Obesity Reviews*, *15*(11), 853–869.
- Geliebter, A., Pantazatos, S. P., McQuatt, H., Puma, L., Gibson, C. D., & Atalayer, D. (2013). Sex-based fMRI differences in obese humans in response to high vs. low energy food cues. *Behavioural Brain Research*, *243*, 91–96.
- Giesen, J. C., Havermans, R. C., Douven, A., Tekelenburg, M., & Jansen, A. (2010). Will work for snack food: The association of BMI and snack reinforcement. *Obesity*, *18*(5), 966–970.
- Greeno, C. G., & Wing, R. R. (1994). Stress-induced eating. *Psychological Bulletin*, *115*(3), 444–464.
- Guerrieri, R., Nederkoorn, C., & Jansen, A. (2007). How impulsiveness and variety influence food intake in a sample of healthy women. *Appetite*, *48*(1), 119–122.
- Hayes, A. F. (2013). *Introduction to mediation, moderation, and conditional process*

- analysis a regression-based approach. New York: The Guilford Press.
- Hendrick, O. M., Luo, X., & Li, C. S. (2012). Saliency processing and obesity: A preliminary imaging study of the stop signal task. *Obesity*, 20(9), 1796–1802.
- Herman, C. P., & Polivy, J. (2010). Sex and gender differences in eating behavior. In *Handbook of gender research in psychology*. Springer New York (Chapter 22).
- He, Q., Xiao, L., Xue, G., Wong, S., Ames, S. L., Schembre, S. M., et al. (2014). Poor ability to resist tempting calorie rich food is linked to altered balance between neural systems involved in urge and self-control. *Nutrition Journal*, 13, 92.
- Horstmann, A., Busse, F. P., Mathar, D., Müller, K., Lepsien, J., Schlögl, H., et al. (2011). Obesity-related differences between women and men in brain structure and goal-directed behavior. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5, 58.
- Horstmann, A., Dietrich, A., Mathar, D., Pössel, M., Villringer, A., & Neumann, J. (2015). Slave to habit? Obesity is associated with decreased behavioural sensitivity to reward devaluation. *Appetite*, 87, 175–183.
- Houben, K., Nederkoorn, C., & Jansen, A. (2014). Eating on impulse: The relation between overweight and food-specific inhibitory control. *Obesity*, 22(5), E6–E8.
- Johnson, P. O., & Fay, L. C. (1950). The Johnson-Neyman technique, its theory and application. *Psychometrika*, 15(4), 349–367.
- Kanter, R., & Caballero, B. (2012). Global gender disparities in obesity: A review. *Advances in Nutrition*, 3(4), 491–498.
- Killgore, W. D. S., & Yurgelun-Todd, D. A. (2010). Sex differences in cerebral responses to images of high vs low calorie food. *Neuroreport*, 21(5), 354–358.
- Kühner, C., Bürger, C., Keller, F., & Hautzinger, M. (2007). Reliability and validity of the revised Beck depression inventory (BDI-II). Results from German samples. *Nervenarzt*, 78(6), 651–656.
- Lattimore, P., & Mead, B. R. (2015). See it, grab it, or STOP! Relationships between trait impulsivity, attentional bias for pictorial food cues and associated response inhibition following in-vivo food cue exposure. *Appetite*, 90, 248–253.
- Lawyer, S. R., Boomhower, S. R., & Rasmussen, E. B. (2015). Differential associations between obesity and behavioral measures of impulsivity. *Appetite*, 95, 375–382.
- Leitch, M. A., Morgan, M. J., & Yeomans, M. R. (2013). Different subtypes of impulsivity differentiate uncontrolled eating and dietary restraint. *Appetite*, 69, 54–63.
- Levitán, R. D., Rivera, J., Silveira, P. P., Steiner, M., Gaudreau, H., Hamilton, J., et al. (2015). Gender differences in the association between stop-signal reaction times, body mass indices and/or spontaneous food intake in pre-school children: An early model of compromised inhibitory control and obesity. *International Journal of Obesity*, 39(4), 614–619.
- Li, C. S., Huang, C., Constable, R. T., & Sinha, R. (2006). Gender differences in the neural correlates of response inhibition during a stop signal task. *Neuroimage*, 32(4), 1918–1929.
- Li, C. S., Zhang, S., Duann, J. R., Yan, P., Sinha, R., & Mazure, C. M. (2009). Gender differences in cognitive control: An extended investigation of the stop-signal task. *Brain Imaging and Behavior*, 3(3), 262–276.
- Lindroos, A. K., Lissner, L., Mathiassen, M. E., Karlsson, J., Sullivan, M., Bengtsson, C., et al. (1997). Dietary intake in relation to restrained eating, disinhibition, and hunger in obese and nonobese Swedish women. *Obesity Research*, 5(3), 175–182.
- Loeber, S., Grosshans, M., Korucuoglu, O., Vollmert, C., Vollstädt-Klein, S., Schneider, S., et al. (2012). Impairment of inhibitory control in response to food-associated cues and attentional bias of obese participants and normal-weight controls. *International Journal of Obesity*, 36(10), 1334–1339.
- Löffler, A., Luck, T., Then, F. S., Luppá, M., Sikorski, C., Kovacs, P., et al. (2015). Age- and gender-specific norms for the German version of the three-factor eating-questionnaire (TFEQ). *Appetite*, 91, 241–247.
- Logan, G. D., & Cowan, W. B. (1984). On the ability to inhibit thought and action: A theory of an act of control. *Psychological Review*, 91, 295–327.
- Logue, A. W., & Smith, M. E. (1986). Predictors of food preferences in adult humans. *Appetite*, 7(2), 109–125.
- Lyke, J. A., & Spinella, M. (2004). Associations among aspects of impulsivity and eating factors in a nonclinical sample. *International Journal of Eating Disorders*, 36(2), 229–233.
- Mathar, D., Horstmann, A., Pleger, B., Villringer, A., & Neumann, J. (2016). Is it worth the Effort? Novel insights into obesity-associated alterations in cost-benefit decision-making. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 9, 360.
- Mela, D. J. (2006). Eating for pleasure or just wanting to eat? Reconsidering sensory hedonic responses as a driver of obesity. *Appetite*, 47(1), 10–17.
- Meule, A., Lukito, S., Vogeles, C., & Kubler, A. (2011a). Enhanced behavioral inhibition in restrained eaters. *Eating Behaviors*, 12(2), 152–155.
- Meule, A., Lutz, A. P. C., Vogeles, C., & Kubler, A. (2014). Impulsive reactions to food-cues predict subsequent food craving. *Eating Behaviors*, 15(1), 99–105.
- Meule, A., Vogeles, C., & Kubler, A. (2011b). Psychometric evaluation of the German Barratt impulsiveness scale—short version (BIS-15). *Diagnostica*, 57, 126–133.
- Mione, V., Canterini, S., Brunamonti, E., Pani, P., Donno, F., Fiorenza, M. T., et al. (2015). Both the COMT Val158Met single-nucleotide polymorphism and sex-dependent differences influence response inhibition. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 9, 127.
- Mobbs, O., Crépin, C., Thiéry, C., Golay, A., & Van der Linden, M. (2010). Obesity and the four facets of impulsivity. *Patient Education and Counseling*, 79(3), 372–377.
- NCD Risk Factor Collaboration. (2016). Trends in adult body-mass index in 200 countries from 1975 to 2014: A pooled analysis of 1698 population-based measurement studies with 19.2 million participants. *The Lancet*, 387(10026), 1377–1396.
- Nederkoorn, C. (2014). Effects of sales promotions, weight status, and impulsivity on purchases in a supermarket. *Obesity*, 22(5), E2–E5.
- Nederkoorn, C., Coelho, J. S., Guerrieri, R., Houben, K., & Jansen, A. (2012). Specificity of the failure to inhibit responses in overweight children. *Appetite*, 59(2), 409–413.
- Nederkoorn, C., Guerrieri, R., Havermans, R. C., Roefs, A., & Jansen, A. (2009). The interactive effect of hunger and impulsivity on food intake and purchase in a virtual supermarket. *International Journal of Obesity*, 33(8), 905–912.
- Nederkoorn, C., Van Eijs, Y., & Jansen, A. (2004). Restrained eaters act on impulse. *Personality and Individual Differences*, 37(8), 1651–1658.
- Oliver, G., & Wardle, J. (1999). Perceived effects of stress on food choice. *Physiology & Behavior*, 66(3), 511–515.
- Patton, J. H., Stanford, M. S., & Barratt, E. S. (1995). Factor structure of the Barratt impulsiveness scale. *Journal of Clinical Psychology*, 51(6), 768–774.
- Preuss, U. W., Rujescu, D., Giegling, I., Watzke, S., Koller, G., Zetzsche, T., et al. (2008). Psychometric evaluation of the German version of the Barratt impulsiveness scale. *Nervenarzt*, 79(3), 305–319.
- Provencher, V., Drapeau, V., Tremblay, A., Després, J. P., Bouchard, C., Lemieux, S., & Québec Family Study. (2004). Eating behaviours, dietary profile and body composition according to dieting history in men and women of the Québec Family Study. *British Journal of Nutrition*, 91(6), 997–1004.
- Pudel, V., & Westenhoefer, J. (1989). *Fragebogen Zum Essverhalten (FEV)*. Göttingen: Hogrefe.
- Pursey, K., Stanwell, P., Callister, R. J., Brain, K., Collins, C. E., & Burrows, T. L. (2014). Neural responses to visual food cues according to weight status: A systematic review of functional magnetic resonance imaging studies. *Frontiers in Nutrition*, 1, 7.
- Rappoport, L., Peters, G. R., Downey, R., McCann, T., & Huff-Corzine, L. (1993). Gender and age differences in food cognition. *Appetite*, 20(1), 33–52.
- Reynolds, B., Ortengren, A., Richards, J. B., & de Wit, H. (2006). Dimensions of impulsive behavior: Personality and behavioral measures. *Personality and Individual Differences*, 40(2), 305–315.
- Rubia, K., Lim, L., Ecker, C., Halari, R., Giampietro, V., Simmons, A., et al. (2013). Effects of age and gender on neural networks of motor response inhibition: From adolescence to mid-adulthood. *Neuroimage*, 83, 690–703.
- Ruigrok, A. N., Salimi-Khorshidi, G., Lai, M. C., Baron-Cohen, S., Lombardo, M. V., Tait, R. J., et al. (2014). A meta-analysis of sex differences in human brain structure. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 39, 34–50.
- Saelens, B. E., & Epstein, L. H. (1996). Reinforcing value of food in obese and non-obese women. *Appetite*, 27(1), 41–50.
- Schag, K., Schönleber, J., Teufel, M., Zipfel, S., & Giel, K. E. (2012). Food-related impulsivity in obesity and binge eating disorder – A systematic review. *Obesity Reviews*, 14, 477–495.
- Sebastian, A., Balderman, C., Feige, B., Katzev, M., Scheller, E., Hellwig, B., et al. (2013). Differential effects of age on subcomponents of response inhibition. *Neurobiology of Aging*, 34(9), 2183–2193.
- Simman, J., Murawski, C., Bode, S., & Horstmann, A. (2015). Incidental rewarding cues influence economic decisions in people with obesity. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 9, 278.
- Stunkard, A. J., & Messick, S. (1985). The three-factor eating questionnaire to measure dietary restraint, disinhibition and hunger. *Journal of Psychosomatic Research*, 29(1), 71–83.
- Sutin, A. R., Ferrucci, L., Zonderman, A. B., & Terracciano, A. (2011). Personality and obesity across the adult life span. *Journal of Personality and Social Psychology*, 101(3), 579–592.
- Swami, V. (2015). Cultural influences on body size ideals: Unpacking the impact of Westernization and modernization. *European Psychologist*, 20(1), 44–51.
- Swick, D., Ashley, V., & Turken, U. (2011). Are the neural correlates of stopping and not going identical? Quantitative meta-analysis of two response inhibition tasks. *Neuroimage*, 56(3), 1655–1665.
- Swinburn, B. A., Sacks, G., Hall, K. D., McPherson, K., Finegood, D. T., Moodie, M. L., et al. (2011). The global obesity pandemic: Shaped by global drivers and local environments. *The Lancet*, 378(9793), 804–814.
- Vandenbroeck, I. P., Goossens, J., & Clemens, M. (2007). *Foresight. Tackling obesity: Future choices—building the obesity system map*. London: Government Office for Science.
- Vartanian, L. R., Herman, C. P., & Polivy, J. (2007). Consumption stereotypes and impression management: How you are what you eat. *Appetite*, 48(3), 265–277.
- Verbruggen, F., & Logan, G. D. (2008). Response inhibition in the stop-signal paradigm. *Trends in Cognitive Science*, 12(11), 418–424.
- Verdejo-García, A., Lawrence, A. J., & Clark, L. (2008). Impulsivity as a vulnerability marker for substance-use disorders: Review of findings from high-risk research, problem gamblers and genetic association studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 32(4), 777–810.
- Wang, G. J., Volkow, N. D., Telang, F., Jayne, M., Ma, Y., Pradhan, K., et al. (2009). Evidence of gender differences in the ability to inhibit brain activation elicited by food stimulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(4), 1249–1254.
- Welch, E., Ghaderi, A., & Swenne, I. (2015). A comparison of clinical characteristics between adolescent males and females with eating disorders. *BMC Psychiatry*, 15, 45.
- Weller, R. E., Cook, E. W., 3rd, Avsar, K. B., & Cox, J. E. (2008). Obese women show greater delay discounting than healthy-weight women. *Appetite*, 51(3), 563–569.
- Westenhoefer, J. (2005). Age and gender dependent profile of food choice. *Forum of Nutrition*, 57, 44–51.
- Whiteside, S. P., & Lynam, D. R. (2001). The five factor model and impulsivity: Using

- a structural model of personality to understand impulsivity. *Personality and Individual Differences*, 30(4), 669–689.
- Wilbertz, T., Deserno, L., Horstmann, A., Neumann, J., Villringer, A., Heinze, H. J., et al. (2014). Response inhibition and its relation to multidimensional impulsivity. *Neuroimage*, 103, 241–248.
- World Health Organization. (2016). *Fact sheet N 311 obesity and overweight*. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/en/> Accessed 05.05.16.
- Yean, C., Benau, E. M., Dakanalis, A., Hormes, J. M., Perone, J., & Timko, C. A. (2013). The relationship of sex and sexual orientation to self-esteem, body shape satisfaction, and eating disorder symptomatology. *Frontiers in Psychology*, 4, 887.
- Yeomans, M. R., & Brace, A. (2015). Cued to act on Impulse: More impulsive choice and risky decision making by women susceptible to overeating after exposure to food stimuli. *PLoS One*, 10(9), e0137626.
- Yeomans, M. R., Leitch, M., & Mobini, S. (2008). Impulsivity is associated with the disinhibition but not restraint factor from the Three Factor Eating Questionnaire. *Appetite*, 50(2–3), 469–476.
- Zellner, D. A., Loaiza, S., Gonzalez, Z., Pita, J., Morales, J., Pecora, D., et al. (2006). Food selection changes under stress. *Physiology & Behavior*, 87(4), 789–793.
- Zhang, Z., Manson, K. F., Schiller, D., & Levy, I. (2014). Impaired associative learning with food rewards in obese women. *Current Biology*, 24(15), 1731–1736.

3 Zusammenfassung

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Dr. med.

Titel: Der Einfluss der Faktoren Geschlecht und Adipositas auf die inhibitorische Kontrolle

eingereicht von: Christoph Mühlberg

angefertigt an / in: Max - Planck - Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften,
Leipzig

betreut von: Prof. Dr. Arno Villringer
Prof. Dr. Jane Neumann

Leipzig, August 2017

Adipositas ist eine der größten gesundheitlichen und gesellschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit mit einer weltweiten Verdopplung der Adipositasprävalenz seit 1980 (World Health Organization 2016). Die Ursachen dafür sind komplex und vielfältig. Sie beinhalten zum einen allgemeine Faktoren wie den Mangel an körperlicher Bewegung und die ständige Verfügbarkeit hochkalorischer Lebensmittel. Zum anderen tragen auch individuelle Eigenschaften wie die genetische Ausstattung, Unterschiede im Essverhalten, die Impulsivität einer Person und damit verbunden das Versagen von kognitiven Kontrollmechanismen gegenüber Essensreizen zur Entstehung und Aufrechterhaltung von Adipositas bei (Dietrich et al. 2014; French et al. 2012; Kanter & Caballero 2012; Mobbs et al. 2010; Nederkoorn et al. 2012; Simmank et al. 2015; Sutin et al. 2011; Swinburn et al. 2011; Vandenberg et al. 2007). Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist dabei noch nicht vollständig geklärt, ob Impulsivität in ihren verschiedenen Dimensionen einen eigenständigen Risikofaktor für Adipositas darstellt, oder nur im Zusammenhang mit anderen Faktoren, beispielsweise einem gleichzeitig gesteigertem Appetenzverhalten oder verändertem Essverhalten zu Übergewicht und Adipositas führen (French et al. 2012). Eine besonders relevante Dimension der Impulsivität für die Gewichtskontrolle stellt die inhibitorische Kontrolle dar. Der Begriff „inhibitorische Kontrolle“ oder „Handlungskontrolle“ beschreibt die Fähigkeit einer Person unangebrachtes Verhalten zurückzuhalten (Bari & Robbins 2013; Wilbertz et al. 2014). Sie ist eng mit dem Konzept der Selbstregulation verbunden und gleichzeitig eine wichtige Voraussetzung für flexible Verhaltensanpassung an sich ständig ändernde Umweltreize. Experimentell kann die inhibitorische Kontrolle beim Menschen mit dem „Stop Signal Task“ (SST) untersucht werden (Verbruggen & Logan 2008), bei dem die so genannte „Stop Signal Reaktionszeit“ (SSRT) ermittelt wird. Die SSRT ist definiert als die Zeit, die eine Person benötigt, um eine bereits initiierte Reaktion zu stoppen.

Der Zusammenhang zwischen Body-Mass-Index (BMI) und inhibitorischer Kontrolle wurde bereits in zahlreichen Studien untersucht, allerdings mit sehr widersprüchlichen Ergebnissen (Bartholdy et al. 2016; Fields et al. 2013; Houben et al. 2014; Lawyer et al. 2015; Levitan et al. 2015; Nederkoorn et al. 2012). Dabei konnte die Mehrzahl der Studien außerhalb des Essenskontextes keinen Zusammenhang zwischen SSRT und dem Gewicht nachweisen (Fields et al. 2013; Hendrick et al. 2012; Houben et al. 2014; Lawyer et al. 2015). Im Gegensatz dazu sind umfassende Studien zum Stop Signal Task im Essenskontext bisher kaum vorhanden und auf Frauen und Kinder als Versuchspersonen beschränkt (Houben et al. 2014; Meule et al. 2014; Nederkoorn et al. 2012). Außerdem liegen bisher keine systematischen Untersuchungen geschlechtsspezifischer Unterschiede zum Zusammenhang zwischen essensbezogener inhibitorischer Kontrolle und BMI in einer erwachsenen Versuchspopulation vor. Aufgrund einer Vielzahl wissenschaftlich nachgewiesener Unterschiede zwischen Männern und Frauen im Essverhalten (Hermann & Polivy 2010; Westenhoefer 2005) und in der Verarbeitung von Essensbildern (Cornier et al. 2010; Killgore & Yurgelun-Todd 2010), aber auch im sozialen und kulturellen Kontext (Swami 2015) und in der Struktur und Funktion des Gehirns (Cosgrove et al. 2007; Ruigrok et al. 2014) lassen sich auch geschlechtsspezifische Unterschiede in der essensbezogenen inhibitorischen Kontrolle vermuten.

Das Ziel der von mir durchgeführten Studie war die Untersuchung gewichts- und geschlechtsspezifischer Unterschiede der inhibitorischen Kontrolle innerhalb und außerhalb des Essenskontextes. Individuelle Faktoren wie Merkmalsimpulsivität, Essverhalten und Präferenzen für hoch- und niedrigkalorische Nahrungsmittel wurden in die Analysen einbezogen, da diese Faktoren die inhibitorische Kontrolle allgemein bzw. im Essenskontext beeinflussen könnten. Darüber hinaus sind für diese Faktoren geschlechtsspezifische Unterschiede bekannt.

Für die Untersuchung meiner Forschungsfragen habe ich 37 adipöse (BMI zwischen 30 kg/m^2 - 40 kg/m^2) und 33 schlanke (BMI zwischen $18,5 \text{ kg/m}^2$ - 25 kg/m^2) Frauen und Männer im Alter von 18 bis 35 Jahren untersucht. Die Probanden führten einen Bewertungstest von Essensbildern und nachfolgend einen essensbezogenen SST durch. Im Anschluss an den SST wurde das individuelle Essverhalten der Probanden mit dem Fragebogen zum Essverhalten (FEV) erfasst und die Merkmalsimpulsivität mit der Barratt Impulsivitätsskala (BIS) ermittelt. Der Bewertungstest der verschiedenen Essensbilder diente einerseits der Feststellung eventueller Präferenzen der Versuchspersonen gegenüber den gezeigten hoch- und niedrigkalorischen Nahrungsmitteln. Andererseits wurden für jeden Probanden individuell die schmackhaftesten hoch- und niedrigkalorischen Essensbilder für den essensbezogenen SST ausgewählt, um einen vergleichbaren Einfluss der präsentierten Bilder auf die inhibitorische Kontrolle zu gewährleisten.

Der SST wurde von Logan & Cowan (1984) entwickelt und besteht in seiner originalen Version aus zwei verschiedenen experimentellen Bedingungen. In der häufiger präsentierten Go Bedingung muss die Versuchsperson eine Taste drücken, sobald ein Go Signal auf dem Computerbildschirm erscheint. In der selteneren Stop Bedingung hört die Versuchsperson nach dem Go Signal einen Ton, der das Stop Signal darstellt. In diesem Fall soll sie versuchen, den Tastendruck zu unterbinden. Die Zeit zwischen Go Signal und Stop Signal ist variabel und wird während des Experimentes, abhängig von der vorherigen Leistung des Probanden, dynamisch angepasst. Sie wird als „Stop Signal Delay“ bezeichnet und zur Berechnung der SSRT verwendet, die nicht direkt gemessen werden kann. Längere SSRT deuten dabei auf eine schlechtere inhibitorische Kontrolle der Versuchspersonen hin.

Für meine Untersuchung der inhibitorischen Kontrolle im Essenskontext habe ich den ursprünglichen SST modifiziert. Den Probanden wurde vor jedem Go Signal ein Bild aus einer von drei Kategorien präsentiert: Hochkalorische Nahrungsmittel, niedrigkalorische Nahrungsmittel und neutrale Gegenstände (Tische und Stühle). Um den spezifischen Einfluss von Geschlecht und Gewichtsstatus

auf die inhibitorische Kontrolle zu untersuchen, wurden SSRT und Go Reaktionszeiten getrennt voneinander in jeweils 2 Kovarianzanalysen (ANCOVA) analysiert. Außerdem testete ich mithilfe multipler Regressionsmodelle mögliche Moderationseffekte von Merkmalsimpulsivität und Essverhalten auf den Zusammenhang zwischen BMI bzw. Geschlecht und der inhibitorischen Kontrolle.

Aus bisherigen Studien leitete ich für meine Untersuchung folgende Hypothesen ab: (1) Eine reduzierte inhibitorische Kontrolle adipöser im Vergleich zu schlanken Versuchspersonen im Essenskontext, (2) eine höhere inhibitorische Kontrolle bei Frauen im Vergleich zu Männern, insbesondere im hochkalorischen Essenskontext, (3) eine höhere inhibitorische Kontrolle im hochkalorischen im Vergleich zum niedrigkalorischen Kontext speziell bei Frauen, verbunden mit einer höheren Präferenz für niedrigkalorische Nahrungsmittel und (4) einen direkten oder moderierenden Einfluss von Merkmalsimpulsivität sowie Störbarkeit und kognitive Kontrolle im Essverhalten auf den Zusammenhang zwischen BMI und SSRT.

Die Adipositas-spezifische Analyse der SSRT zeigte im neutralen Kontext, wie erwartet, keine Unterschiede zwischen schlanken und adipösen Versuchspersonen. Dies unterstützt die These, dass stark übergewichtige Personen keine generell verminderte inhibitorische Kontrolle aufweisen (Bartholdy et al. 2016; Hendrick et al. 2012; Lawyer et al. 2015). Vielmehr hängt die Fähigkeit, eine unangebrachte Reaktion zu unterdrücken, vom Kontext oder der spezifischen Situation ab (Bartholdy et al. 2016; Schag et al. 2012). Entgegen meiner Hypothese konnte ich allerdings auch im Essenskontext keine Unterschiede zwischen den Gewichtsgruppen feststellen. Eine mögliche Erklärung für diese Diskrepanz mit einigen vorausgegangenen Studien (z.B. Houben et al. 2014) ist die unterschiedliche Darbietung der Essensreize. In diesen Studien wurden die Essensbilder nicht vor dem Go Signal gezeigt, sondern direkt als Go Signal verwendet, was die behaviorale Relevanz der Bilder und damit ihren möglichen Einfluss auf die SSRT erhöhte. Außerdem wurde in meiner Studie durch den Bewertungstest der Essensbilder sichergestellt, dass der hedonische Wert der präsentierten Nahrungsmittel in beiden Gewichtsgruppen vergleichbar war. Mögliche Präferenzen für bestimmte Nahrungsmittel hatten somit keinen Einfluss auf die Testresultate.

Trotz divergierender Befunde zur Beziehung zwischen SSRT und BMI, konnte in verschiedenen Studien ein positiver Zusammenhang zwischen essensbezogenen SSRT und tatsächlichem Nahrungsmittelkonsum (Bartholdy et al. 2016), sowie zwischen SSRT und durch Fragebögen erhobene individuelle Unterschiede im Essverhalten (Meule et al. 2014) nachgewiesen werden. Personen mit längeren SSRT im essensbezogenen Kontext sind empfänglicher für externe Reize wie z.B. Werbung oder Rabattaktionen (Nederkoorn 2014) und zeigen ein gesteigertes Appetenzverhalten besonders hervorgerufen durch hochkalorische Nahrungsmittel. Die kann wiederum zu verändertem Essverhalten und nachfolgend zur Gewichtszunahme führen.

Im Bewertungstest der Essensbilder zeigte sich über alle Probanden meiner Studie eine signifikant höhere Bewertung von niedrigkalorischen gegenüber hochkalorischen Nahrungsmitteln. Frauen bewerteten niedrigkalorische Nahrungsmittel dabei signifikant höher als Männer. Ein gewichtsspezifischer Unterschied in der Bewertung von Essensbildern konnte hingegen nicht nachgewiesen werden. Diese Resultate bestätigen bestehende Befunde (Mela 2006). Frühere Studien zeigten jedoch auch, dass trotz vergleichbarer Präferenz für hochkalorische Nahrungsmittel adipöse gegenüber schlanken Versuchspersonen bereit waren, mehr Aufwand für den Erhalt hochkalorischer Nahrungsmittel aufzubringen (Giesen et al. 2010; Saelens & Epstein 1996). Diese Diskrepanz zwischen subjektiver Einschätzung und tatsächlicher Handlung könnte zu gesteigertem Essverhalten beitragen und damit ein erhöhtes Risiko für eine weitere Gewichtszunahme adipöser Personen darstellen.

Auch in der geschlechtsspezifischen Analyse der SSRT konnten in meiner Studie, wie erwartet, keine signifikanten Unterschiede im neutralen Kontext beobachtet werden. Allerdings zeigte sich eine signifikante Geschlecht \times Kategorie Interaktion im Essenskontext. Frauen wiesen dabei kürzere SSRT für hochkalorische verglichen mit niedrigkalorischen Essensbildern auf. Bei Männern konnte kein solcher Zusammenhang nachgewiesen werden. Außerdem zeigten Frauen im Vergleich zu Männern einen statistischen Trend für kürzere SSRT in der hochkalorischen Bedingung. Diese Resultate bestätigen meine Hypothesen geschlechtsspezifischer Differenzen in der inhibitorischen Kontrolle im Essenskontext. Die zwischen den Geschlechtern unterschiedliche Bewertung der Essensbilder hatte dabei keinen signifikanten Einfluss auf die Interaktion im essensbezogenen SST.

Bildgebende Studien konnten zeigen, dass Frauen und Männer Bilder hochkalorischer und niedrigkalorischer Nahrungsmittel unterschiedlich verarbeiten. Frauen wiesen dabei während der Ansicht von hochkalorischen Essensbildern im Vergleich zu männlichen Probanden eine erhöhte neuronale Aktivität im dorsolateralen prefrontalen Kortex und im parietalen Kortex auf (Cornier et al. 2010; Killgore & Yurgelun-Todd 2010). Diese Hirnareale spielen eine entscheidende Rolle in der inhibitorischen Kontrolle (Bari & Robbins 2013; Verbruggen & Logan 2008; Wilbertz et al. 2014). Eine vermehrte Rekrutierung inhibitorischer Kontrollareale bei weiblichen Versuchspersonen im hochkalorischen Kontext könnte sich auf behavioraler Ebene in kürzere SSRT im essensbezogenen SST niederschlagen. Niedrigkalorische Lebensmittel werden allgemein als gesund und wünschenswert betrachtet. Daher kann man annehmen, dass gegenüber diesen Nahrungsmitteln keine gesteigerte inhibitorische Kontrolle notwendig ist. Die erhöhte inhibitorische Kontrolle gegenüber ungesunden hochkalorischen Essensreizen bei Frauen ist vermutlich bedingt durch einen starken sozialen und kulturellen Einfluss in den westlichen Industrienationen. Gesundes Essen mit niedrigem Fettgehalt und das Streben nach Schlankheit sind Teile eines modernen weiblichen Rollenbildes geworden (Swami 2015; Vartanian et al. 2007). Männer haben das kulturelle Schlankheitsideal meist weniger verinnerlicht und sind im Allgemeinen zufriedener mit ihrer körperlichen Statur (Yean et al. 2013). Frauen achten bewusster auf ihre Ernährung, besitzen eine größere Vorliebe für Obst und Gemüse, setzen sich mehr mit ihrer Gesundheit auseinander und weisen eine höhere Motivation zur Gewichtskontrolle auf (Hermann & Polivy 2010; Logue & Smith 1986; Rappoport et al. 1993; Westenhoefer 2005). Die Resultate meiner Studie verdeutlichen diesen starken sozialen und kulturellen Einfluss auf unsere Ernährungsgewohnheiten.

Die Funktion kognitiver Kontrollmechanismen gegenüber hochkalorischen Essensreizen ist jedoch situativ unterschiedlich und wird durch zusätzliche Faktoren wie Stress oder Hunger beeinflusst (Wang et al. 2009; Zellner et al. 2006). So konnte gezeigt werden, dass Frauen in Stresssituation zu einer übermäßigen Nahrungsaufnahme, vor allem von ungesunden hochkalorischen Nahrungsmitteln, neigen (Oliver & Wardle 1999; Zellner et al. 2006). Außerdem treten bei Frauen öfter spezifische essensbezogene Probleme wie emotional ausgelöste Essattacken auf (Welch et al. 2015; Yean et al. 2013). Die unter normalen Lebensumständen stärker ausgeprägte inhibitorische Kontrolle gegenüber hochkalorischen Nahrungsmitteln weiblicher Personen kann also in Stress- und Hungersituationen eingeschränkt sein und so zur Entstehung und Aufrechterhaltung von Adipositas beitragen.

Ich habe für meine Studie einen Einfluss verschiedener Persönlichkeitsmerkmale wie Merkmalsimpulsivität und Störbarkeit des Essverhaltens auf die inhibitorische Kontrolle vermutet. Bezüglich möglicher Gruppenunterschiede in diesen Merkmalen konnte der bereits bekannte Zusammenhang zwischen Störbarkeit des Essverhaltens und dem Gewichtsstatus, mit einer höheren Störbarkeit bei adipösen Versuchspersonen, bestätigt werden (Bryant et al. 2008; Dietrich et al. 2014; French et al. 2012; Lindroos et al. 1997).

Für die untersuchten Persönlichkeitsmerkmale konnte zunächst jedoch weder eine signifikante Korrelation mit den gemessenen SSRT, noch ein signifikanter Einfluss in den Varianzanalysen nachgewiesen werden. Zudem bestand keine signifikante Korrelation zwischen den Fragebogenwerten und dem BMI innerhalb der Gewichtsgruppen. Für meine Versuchspersonen konnte also kein direkter Einfluss der untersuchten Persönlichkeitsmerkmale auf die inhibitorische Kontrolle im SST gezeigt werden. Mithilfe multipler Regressionsmodelle testete ich deshalb mögliche Moderationseffekte von Merkmalsimpulsivität und Essverhalten auf den Zusammenhang zwischen BMI und inhibitorischer Kontrolle. Hier zeigte sich ein signifikanter Moderationseffekt der Merkmalsimpulsivität spezifisch im hochkalorischen Essenskontext. Dabei war ein höherer BMI mit längeren SSRT Werten assoziiert, allerdings nur für Personen mit niedriger bis mittlerer Impulsivität.

Die Resultate der Moderationsanalysen liefern noch keine vollständige Erklärung für den Zusammenhang zwischen Merkmalsimpulsivität, Gewichtsstatus und inhibitorischer Kontrolle. Allerdings wäre zu vermuten, dass bestimmte Aspekte der Merkmalsimpulsivität, wie zum Beispiel die Unfähigkeit zu Warten oder eine besonders hohe Suszeptibilität für Belohnungen, die inhibitorische Kontrolle beeinflussen. Zur Überprüfung dieser Hypothesen sind jedoch weitere experimentelle Untersuchungen impulsiven Verhaltens notwendig. Die gleichzeitige Erfassung verschiedener Aspekte des multidimensionalen Konstrukts der Impulsivität (Bari & Robins 2013; Caswell et al. 2015) könnte in zukünftigen Experimenten eine bessere Charakterisierung des individuellen Einflusses externer Essensreize und einer damit assoziierten Gewichtszunahme ermöglichen.

Obwohl die vorliegende Studie keine Adipositas-spezifischen Unterschiede in den SSRT lieferte, sollten weitere Studien die essensbezogene inhibitorische Kontrolle mittels funktioneller Magnetresonanztomographie untersuchen, um potentielle Veränderungen neuronaler Aktivität zu detektieren. Mögliche neuronale Veränderungen könnten als Biomarker für eine spätere Gewichtszunahme bzw. für die Erfolgsaussichten einer gewichtsreduzierenden Therapie dienen. Eine kürzlich durchgeführte Metaanalyse konnte kleine Effekte des Trainings der essensbezogenen inhibitorischen Kontrolle auf den Nahrungsmittelkonsum nachweisen (Jones et al. 2016). Allerdings waren die durch das Training im Stop Signal Task hervorgerufenen Verhaltensänderungen und der verringerte Nahrungsmittelkonsum der Versuchspersonen nicht anhaltend (Allom & Mullan 2015) und weniger stark ausgeprägt, als durch das Training mit dem so genannten „Go/NoGo Task“ (Jones et al. 2016; Lawrence et al. 2015, Adams et al. 2017). Bisherige therapeutische Interventionsstudien untersuchten fast ausschließlich junge, schlanke und gebildete Frauen (Bartholdy et al. 2016). Es kann angenommen werden, dass diese Personen bereits gut funktionierende Exekutivfunktionen einschließlich der inhibitorischen Kontrolle besitzen. Dies ist eine mögliche Erklärung für die nur kurzfristigen und kleinen Effekte des Trainings auf das Ernährungsverhalten und das Gewicht. Außerdem wurde den geschlechtsspezifischen Unterschieden in der essensbezogenen inhibitorischen Kontrolle in bisherigen Studien zu wenig Beachtung geschenkt. Somit sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt die Auswirkungen und die Effektivität eines Inhibitionstrainings auf das Essverhalten und das Gewicht unklar.

Verschiedene Studien konnten teilweise zeigen, dass mithilfe von Medikamenten, wie zum Beispiel dem selektiven Serotonin-Wiederaufnahmehemmer Citalopram oder dem Psychostimulans Methylphenidat, die inhibitorische Kontrolle von Personen mit Parkinson Syndrom oder Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung verbessert werden konnte (Aron et al. 2003; Bartholdy et al. 2016; Nandam et al. 2011; Ye et al. 2016). Zukünftige Studien sollten den Effekt von psychotropen Medikamenten bei adipösen Personen im Bezug zur inhibitorischen Kontrolle und zum Essverhalten untersuchen. Diese könnten mögliche Therapieansätze zur Gewichtsreduktion bei stark übergewichtigen Personen mit eingeschränkter inhibitorischer Kontrolle darstellen.

4 Literaturverzeichnis

1. Adams, R. C., Lawrence, N. S., Verbruggen, F., & Chambers, C. D. (2017). Training response inhibition to reduce food consumption: Mechanisms, stimulus specificity and appropriate training protocols. *Appetite*, 109, 11-23.
2. Allom, V., & Mullan, B. (2015). Two inhibitory control training interventions designed to improve eating behaviour and determine mechanisms of change. *Appetite*, 89, 282-290.
3. Appelhans, B. M. (2009). Neurobehavioral inhibition of reward-driven feeding: implications for dieting and obesity. *Obesity*, 17(4), 640-647.
4. Aron, A. R., Dowson, J. H., Sahakian, B. J., & Robbins, T. W. (2003). Methylphenidate improves response inhibition in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological Psychiatry*, 54, 1465-1468.
5. Aron, A. R., & Poldrack, R. A. (2006). Cortical and subcortical contributions to Stop signal response inhibition: role of the subthalamic nucleus. *Journal of Neuroscience*, 26(9), 2424-33.
6. Band, G. P. H., van der Molen, M. W., & Logan, G. D. (2003). Horse-race model simulations studies of the stop signal procedure. *Acta Psychologica*, 112(2), 105-142.
7. Bari, A., & Robbins, T. W. (2013). Inhibition and impulsivity: behavioral and neural basis of response control. *Progress in Neurobiology*, 108, 44-79.
8. Bartholdy, S., Dalton, B., O'Daly, O. G., Campbell, I. C., & Schmidt, U. (2016). A systematic review of the relationship between eating, weight and inhibitory control using the stop signal task. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 64, 35-62.
9. Bellisle, F., Clément, K., Le Barzic, M., Le Gall, A., Guy-Grand, B., & Basdevant, A. (2004). The Eating Inventory and Body Adiposity from Leanness to Massive Obesity: a Study of 2509 Adults. *Obesity Research*, 12(12), 2023-2030.
10. Bennett, J., Greene, G., & Schwartz-Barcott, D. (2013). Perceptions of emotional eating behavior. A qualitative study of college students. *Appetite*, 60(1), 187-192.
11. Bryant, E. J., King, N. A., & Blundell, J. E. (2008). Disinhibition: its effects on appetite and weight regulation. *Obesity Review*, 9(5), 409-419.
12. Bryant, E. J., Kiezebrink, K., King, N. A., & Blundell, J. E. (2010). Interaction between disinhibition and restraint: Implications for body weight and eating disturbance. *Eating and Weight Disorders*, 15(1-2), e43-51.
13. Caswell, A. J., Bond, R., Duka, T., & Morgan, M. J. (2015). Further evidence of the heterogeneous nature of impulsivity. *Personality and Individual Differences*, 76, 68-74.
14. Chamberlain, S. R., Derbyshire, K. L., Leppink, E., & Grant, J. E. (2015). Obesity and dissociable forms of impulsivity in young adults. *CNS Spectrums*, 20(5), 500-507.
15. Cornier, M. A., Salzberg, A. K., Endly, D. C., Bessesen, D. H., & Tregellas, J. R. (2010). Sex-based differences in the behavioral and neuronal responses to food. *Physiology & Behavior*, 99(4), 538-543.
16. Cosgrove, K. P., Mazure, C. M., & Staley, J. K. (2007). Evolving knowledge of sex differences in brain structure, function, and chemistry. *Biological Psychiatry*, 62(8), 847-855.
17. Crosbie, J., Arnold, P., Paterson, A., Swanson, J., Dupuis, A., Li, X., Shan, J., Goodale, T., Tam, C., Strug, L. J., & Schachar, R. J. (2013). Response inhibition and ADHD traits: correlates and heritability in a community sample. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 41(3), 497-507.
18. Dee, A., Kearns, K., O'Neill, C., Sharp, L., Staines, A., O'Dwyer, V., & Fitzgerald, S. (2014). The direct and indirect costs of both overweight and obesity: a systematic review. *BMC Research Notes*, 7, 242.
19. Dietrich, A., Federbusch, M., Grellmann, C., Villringer, A., & Horstmann, A. (2014). Body weight status, eating behavior, sensitivity to reward/punishment, and gender: relationships and interdependencies. *Frontiers in Psychology*, 5:1073.

20. Eagle, D., Bari, A., & Robbin, T. W. (2008). The neuropsychopharmacology of action inhibition: cross-species translation of the stop-signal and go/no-go tasks. *Psychopharmacology*, 199(3), 439-456.
21. Evans, K. L., & Hampson, E. (2015). Sex-dependent effects on tasks assessing reinforcement learning and interference inhibition. *Frontiers in Psychology*, 6:1044.
22. Fields, S. A., Sabet, M., & Reynolds, B. (2013). Dimensions of impulsive behavior in obese, overweight, and health-weight adolescents. *Appetite*, 70, 60-66.
23. French, S. A., Epstein, L. H., Jeffery, R. W., Blundell, J. E., & Wardle, J. (2012). Eating behavior dimensions. Associations with energy intake and body weight. A review. *Appetite*, 59(2), 541-549.
24. García-García, I., Horstmann, A., Jurado, M. A., Garolera, M., Chaudhry, S. J., Margulies, D. S., Villringer, A., & Neumann, J. (2014). Reward processing in obesity, substance addiction and non-substance addiction. *Obesity Reviews*, 15(11), 853-869.
25. Geliebter, A., Pantazatos, S. P., McOuatt, H., Puma, L., Gibson, C. D., & Atalayer, D. (2013). Sex-based fMRI differences in obese humans in response to high vs. low energy food cues. *Behavioural brain research*, 243, 91-96.
26. Giesen, J. C., Havermans, R. C., Douven, A., Tekelenburg, M., & Jansen, A. (2010). Will work for snack food: the association of BMI and snack reinforcement. *Obesity*, 18(5), 966-970.
27. Greeno, C. G., & Wing, R. R. (1994). Stress-induced eating. *Psychological Bulletin*, 115(3), 444-464.
28. Guerrieri, R., Nederkoorn, C., & Jansen, A. (2007). How impulsiveness and variety influence food intake in a sample of healthy women. *Appetite*, 48(1), 119-122.
29. Hayes, A. F. (2013). Introduction to Mediation, Moderation, and Conditional Process Analysis A Regression-Based Approach. Chapter 7, The Guilford Press, New York.
30. Hendrick, O. M., Luo, X., & Li, C. S. (2012). Saliency processing and obesity: a preliminary imaging study of the stop signal task. *Obesity*, 20(9), 1796-1802.
31. Herman, C. P., & Polivy J. (2010). "Sex and gender differences in eating behavior." *Handbook of gender research in psychology*. Springer New York (Chapter 22), 455-469.
32. Houben, K., Nederkoorn, C., & Jansen, A. (2014). Eating on impulse: the relation between overweight and food-specific inhibitory control. *Obesity*, 22(5), E6-E8.
33. Hudson, J. I., Hiripi, E., Pope, H. G., & Kessler, R. C. (2007). The prevalence and correlates of eating disorders in the national comorbidity survey replication. *Biological Psychiatry*, 61(3), 348-358.
34. Jones, A., Di Lemma, L. C., Robinson, E., Christiansen, P., Nolan, S., Tudur-Smith, C., & Field M. (2016). Inhibitory control training for appetitive behaviour change: A meta-analytic investigation of mechanisms of action and moderators of effectiveness. *Appetite*, 97, 16-28.
35. Kanter, R., & Caballero, B. (2012). Global gender disparities in obesity: a review. *Advances in Nutrition*, 3(4), 491-498.
36. Killgore, W. D. S., & Yurgelun-Todd, D. A. (2010). Sex differences in cerebral responses to images of high vs low calorie food. *Neuroreport*, 21(5), 354-358.
37. Krypotos, A. M., Jahfari, S., van Ast, V. A., Kindt, M., & Forstmann B. U. (2011). Individual Differences in Heart Rate Variability Predict the Degree of Slowing during Response Inhibition and Initiation in the Presence of Emotional Stimuli. *Frontiers of Psychology*, 2:278.
38. Lawrence, N. S., O'Sullivan, J., Parslow, D., Javaid, M., Adams, R. C., Chambers, C. D., Kos, K., & Verbruggen, F. (2015). Training response inhibition to food is associated with weight loss and reduced energy intake. *Appetite*, 95, 17-28.
39. Lawyer, S. R., Boomhower, S. R., & Rasmussen, E. B. (2015). Differential associations between obesity and behavioral measures of impulsivity. *Appetite*, 95, 375-382.

40. Lehnert, T., Streltchenia, P., Konnopka, A., Riedel-Heller, S. G., & König, H. H. (2015). Health burden and costs of obesity and overweight in Germany: an update. *European Journal of Health Economics*, 16(9), 957-967.
41. Leitch, M. A., Morgan, M. J., & Yeomans, M. R. (2013). Different subtypes of impulsivity differentiate uncontrolled eating and dietary restraint. *Appetite*, 69, 54-63.
42. Levitan, R. D., Rivera, J., Silveira, P. P., Steiner, M., Gaudreau, H., Hamilton, J., Kennedy, J. L., Davis, C., Dube, L., Fellows, L., Wazana, A., Matthews, S., Meaney, M. J., & MAVAN Study Team. (2015). Gender differences in the association between stop-signal reaction times, body mass indices and/or spontaneous food intake in pre-school children: an early model of compromised inhibitory control and obesity. *International Journal of Obesity*, 39(4), 614-619.
43. Li, C. S., Huang, C., Constable, R. T., & Sinha, R. (2006). Gender differences in the neural correlates of response inhibition during a stop signal task. *Neuroimage*, 32(4), 1918-1929.
44. Li, C. S., Zhang, S., Duann, J. R., Yan, P., Sinha, R., & Mazure, C. M. (2009). Gender differences in cognitive control: an extended investigation of the stop-signal task. *Brain Imaging and Behavior*, 3(3), 262-276.
45. Lindroos, A. K., Lissner, L., Mathiassen, M. E., Karlsson, J., Sullivan, M., Bengtsson, C., & Sjöström, L. (1997). Dietary intake in relation to restrained eating, disinhibition, and hunger in obese and nonobese Swedish women. *Obesity Research*, 5(3), 175-182.
46. Loeber, S., Grosshans, M., Korucuoglu, O., Vollmert, C., Vollstädt-Klein, S., Schneider, S., Wiers, R. W., Mann, K., & Kiefer, F. (2012). Impairment of inhibitory control in response to food-associated cues and attentional bias of obese participants and normal-weight controls. *International Journal of Obesity*, 36(10), 1334-1339.
47. Logan, G. D., & Cowan, W. B. (1984). On the ability to inhibit thought and action: A theory of an act of control. *Psychological Review*, 91, 295-327.
48. Logue, A.W., & Smith, M.E. (1986). Predictors of food preferences in adult humans. *Appetite*, 7(2), 109-125.
49. Löffler, A., Luck, T., Then, F. S., Luppä, M., Sikorski, C., Kovacs, P., Tönjes, A., Böttcher, Y., Breitfeld, J., Horstmann, A., Löffler, M., Engel, C., Thiery, J., Stumvoll, M., & Riedel-Heller, S. G. (2015). Age- and gender-specific norms for the German version of the Three-Factor Eating-Questionnaire (TFEQ). *Appetite*, 91, 241-247.
50. Lyke, J. A., & Spinella, M. (2004). Associations among aspects of impulsivity and eating factors in a nonclinical sample. *International Journal of Eating Disorders*, 36(2), 229-233.
51. McCrae, R. R., & Costa, P. T., Jr. (1989). The structure of interpersonal traits: Wiggins's circumplex and the five-factor model. *Journal of Personality and Social Psychology*, 56, 586-595.
52. Mela, D. J. (2006). Eating for pleasure or just wanting to eat? Reconsidering sensory hedonic responses as a driver of obesity. *Appetite*, 47 (1), 10-17.
53. Meule, A., Lukito, S., Vogele, C., & Kubler, A. (2011). Enhanced behavioral inhibition in restrained eaters. *Eating Behaviors*, 12(2), 152-155.
54. Meule, A., Lutz, A. P. C., Vogele, C., & Kubler, A. (2014). Impulsive reactions to food-cues predict subsequent food craving. *Eating Behaviors*, 15(1), 99-105.
55. Mione, V., Canterini, S., Brunamonti, E., Pani, P., Donno, F., Fiorenza, M. T., & Ferraina, S. (2015). Both the COMT Val158Met single-nucleotide polymorphism and sex-dependent differences influence response inhibition. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 9:127.
56. Mobbs, O., Crépin, C., Thiéry, C., Golay, A., & Van der Linden, M. (2010). Obesity and the four facets of impulsivity. *Patient Education and Counseling*, 79(3), 372-377.
57. Monteleone, P., Piscitelli, F., Scognamiglio, P., Monteleone, A. M., Canestrelli, B., Di Marzo, V., & Maj, M. (2012). Hedonic eating is associated with increased peripheral levels of ghrelin and the endocannabinoid 2-arachidonoyl-glycerol in healthy humans: a pilot study. *Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 97(6), 917-924.

58. Nandam, L. S., Hester, R., Wagner, J., Cummins, T. D., Garner, K., Dean, A. J., Kim, B. N., Nathan, P. J., Mattingley, J. B., & Bellgrove, M. A. (2011). Methylphenidate but not atomoxetine or citalopram modulates inhibitory control and response time variability. *Biological Psychiatry*, 69(9), 902-904.
59. Nederkoorn, C., Van Eijs, Y., & Jansen, A. (2004). Restrained eaters act on impulse. *Personality and Individual Differences*, 37(8), 1651-1658.
60. Nederkoorn, C., Smulders, F. T., Havermans, R. C., Roefs, A., & Jansen, A. (2006). Impulsivity in obese women. *Appetite*, 47(2), 253-256.
61. Nederkoorn, C., Guerrieri, R., Havermans, R. C., Roefs, A., & Jansen, A. (2009). The interactive effect of hunger and impulsivity on food intake and purchase in a virtual supermarket. *International Journal of Obesity*, 33(8), 905-912.
62. Nederkoorn, C., Coelho, J. S., Guerrieri, R., Houben, K., & Jansen, A. (2012). Specificity of the failure to inhibit responses in overweight children. *Appetite*, 59(2), 409-413.
63. Nederkoorn, C. (2014). Effects of sales promotions, weight status, and impulsivity on purchases in a supermarket. *Obesity*, 22(5), E2-E5.
64. Oliver, G., & Wardle, J. (1999). Perceived effects of stress on food choice. *Physiology & Behavior*, 66(3), 511-515.
65. Patton, J. H., Stanford, M. S., & Barratt, E. S. (1995). Factor structure of the Barratt impulsiveness scale. *Journal of Clinical Psychology*, 51(6), 768-774.
66. Preuss, U. W., Rujescu, D., Giegling, I., Watzke, S., Koller, G., Zetzsche, T., Meisenzahl, E. M., Soyka, M., & Möller, H. J. (2008). Psychometric evaluation of the German version of the Barratt Impulsiveness Scale. *Nervenarzt*, 79(3), 305-319.
67. Price, M., Higgs, S., & Lee, M. (2015). Self-reported eating traits: Underlying components of food responsiveness and dietary restriction are positively related to BMI. *Appetite*, 95, 203-210.
68. Pudiel, V., & Westenhofer, J. (1989). Fragebogen Zum Essverhalten (FEV). Göttingen: Hogrefe.
69. Pull, C. B. (2004). Binge Eating Disorder. *Current Opinion in Psychiatry*, 17, 43-48.
70. Pursey, K., Stanwell, P., Callister, R. J., Brain, K., Collins, C. E., & Burrows, T. L. (2014). Neural responses to visual food cues according to weight status: a systematic review of functional magnetic resonance imaging studies. *Frontiers in Nutrition*, 1:7.
71. Rappoport, L., Peters, G.R., Downey, R., McCann, T., & Huff-Corzine, L. (1993). Gender and age differences in food cognition. *Appetite*, 20(1), 33-52.
72. Reynolds, B., Ortengren, A., Richards, J. B., & de Wit, H. (2006). Dimensions of impulsive behavior: Personality and behavioral measures. *Personality and Individual Differences*, 40(2), 305-315.
73. Rubia, K., Lim, L., Ecker, C., Halari, R., Giampietro, V., Simmons, A., Brammer, M., & Smith, A. (2013). Effects of age and gender on neural networks of motor response inhibition: from adolescence to mid-adulthood. *Neuroimage*, 83, 690-703.
74. Ruigrok, A. N., Salimi-Khorshidi, G., Lai, M. C., Baron-Cohen, S., Lombardo, M. V., Tait, R. J., & Suckling, J. (2014). A meta-analysis of sex differences in human brain structure. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 39, 34-50.
75. Saelens, B. E., & Epstein, L. H. (1996). Reinforcing value of food in obese and non-obese women. *Appetite*, 27(1), 41-50.
76. Schag, K., Schönleber, J., Teufel, M., Zipfel, S., & Giel, K. E. (2012). Food-related impulsivity in obesity and Binge Eating Disorder - a systematic review. *Obesity Reviews*, 14, 477-495.
77. Sebastian, A., Balderman, C., Feige, B., Katzev, M., Scheller, E., Hellwig, B., Lieb, K., Weiller, C., Tüscher, O., & Klöppel, S. (2013). Differential effects of age on subcomponents of response inhibition. *Neurobiology of Aging*, 34(9), 2183-2193.
78. Simmank, J., Murawski, C., Bode, S., & Horstmann, A. (2015). Incidental rewarding cues influence economic decisions in people with obesity. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 9:278.

79. Stunkard, A. J., & Messick, S. (1985). The three-factor eating questionnaire to measure dietary restraint, disinhibition and hunger. *Journal of Psychosomatic Research*, 29(1), 71-83.
80. Sutin, A. R., Ferrucci, L., Zonderman, A. B., & Terracciano, A. (2011). Personality and obesity across the adult life span. *Journal of Personality and Social Psychology*, 101(3), 579-592.
81. Swami, V., Miller, R., Furnham, A., Penke, L., & Tovee, M. J. (2008). The influence of men's sexual strategies on perceptions of women's bodily attractiveness, health and fertility. *Personality and Individual Differences*, 44(1), 98-107.
82. Swami, V., Frederick, D. A., Aavik, T., Alcalay, L., Allik, J., Anderson, D., Andrianto, S., Arora, A., Brännström, A. & all (2010). The attractive female body weight and female body dissatisfaction in 26 countries across 10 world regions: results of the international body project I. *Personality & social psychology bulletin*, 36(3), 309-325.
83. Swami, V. (2015). Cultural influences on body size ideals: Unpacking the impact of Westernization and modernization. *European Psychologist*, 20(1), 44-51.
84. Swick, D., Ashley, V., & Turken, U. (2011). Are the neural correlates of stopping and not going identical? Quantitative meta-analysis of two response inhibition tasks. *Neuroimage*, 56(3), 1655-1665.
85. Swinburn, B. A., Sacks, G., Hall, K. D., McPherson, K., Finegood, D. T., Moodie, M. L., & Gortmaker, S. L. (2011). The global obesity pandemic: shaped by global drivers and local environments. *The Lancet*, 378(9793), 804-14.
86. Thakkar, K. N., Congdon, E., Poldrack R. A., Sabb, F. W., London, E. D., Cannon, T. D., & Bilder, R. M. (2014). Women are more sensitive than men to prior trial events on the Stop-signal task. *British Journal of Psychology*, 105(2), 254-272.
87. Vandenbroeck, I. P., Goossens, J., & Clemens, M. (2007). Foresight. Tackling obesities: future choices—building the Obesity System Map. London: Government Office for Science.
88. Vartanian, L. R., Herman, C. P., & Polivy, J. (2007). Consumption stereotypes and impression management: how you are what you eat. *Appetite*, 48(3), 265-277.
89. Verbruggen, F., & Logan, G. D. (2008). Response inhibition in the stop-signal paradigm. *Trends in Cognitive Science*, 12(11), 418-424.
90. Verdejo-García, A., Lawrence, A. J., & Clark, L. (2008). Impulsivity as a vulnerability marker for substance-use disorders: review of findings from high-risk research, problem gamblers and genetic association studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 32(4), 777-810.
91. Wang, G. J., Volkow, N. D., Telang, F., Jayne, M., Ma, Y., Pradhan, K., Zhu, W., Wong, C. T., Thanos, P. K., Geliebter, A., Biegón, A., & Fowler, J. S. (2009). Evidence of gender differences in the ability to inhibit brain activation elicited by food stimulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(4), 1249-1254.
92. Welch, E., Ghaderi, A., & Swenne, I. (2015). A comparison of clinical characteristics between adolescent males and females with eating disorders. *BMC Psychiatry*, 15, 45.
93. Weller, R. E., Cook, E. W. 3rd, Avsar, K. B., & Cox, J.E. (2008). Obese women show greater delay discounting than healthy-weight women. *Appetite*, 51(3), 563-569.
94. Westenhofer, J. (2005). Age and gender dependent profile of food choice. *Forum of Nutrition*, 57, 44-51.
95. Whiteside S. P., & Lynam D. R. (2001). The five factor model and impulsivity: Using a structural model of personality to understand impulsivity. *Personality and Individual Differences*, 30(4), 669-689.
96. Wilbertz, T., Deserno, L., Horstmann, A., Neumann, J., Villringer, A., Heinze, H. J., Boehler, C. N., & Schlagenhauf, F. (2014). Response inhibition and its relation to multidimensional impulsivity. *Neuroimage*, 103, 241-248.
97. Williams, B. R., Ponesse, J. S., Schachar, R. J., Logan, G. D., & Tannock, R. (1999). Development of inhibitory control across the life span. *Developmental psychology*, 35(1), 205-213.

98. World Health Organization. Fact sheet N 311 Obesity and Overweight (2016). <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/en/> Accessed 05.05.2016.
99. Ye, Z., Rae, C. L., Nombela, C., Ham, T., Rittman, T., Jones, P. S., Rodriguez, P. V., Coyle-Gilchrist, I., Regenthal, R., Altena, E., Housden, C. R., Maxwell, H., Sahakian, B. J., Barker, R. A., Robbins, T. W., & Rowe, J. B. (2016). Predicting beneficial effects of atomoxetine and citalopram on response inhibition in Parkinson's disease with clinical and neuroimaging measures. *Human Brain Mapping*, 37(3), 1026-1037.
100. Yean, C., Benau, E. M., Dakanalis, A., Hormes, J. M., Perone, J., & Timko, C. A. (2013). The relationship of sex and sexual orientation to self-esteem, body shape satisfaction, and eating disorder symptomatology. *Frontiers in Psychology*, 4:887.
101. Yeomans, M. R., Leitch, M., & Mobini, S. (2008). Impulsivity is associated with the disinhibition but not restraint factor from the Three Factor Eating Questionnaire. *Appetite*, 50(2-3), 469-476.
102. Yeomans, M. R., & Brace, A. (2015). Cued to Act on Impulse: More Impulsive Choice and Risky Decision Making by Women Susceptible to Overeating after Exposure to Food Stimuli. *PLoS One*, 10(9), e0137626.
103. Young, M. E., Mizzau, M., Mai, N. T., Sirisegaram, A., & Wilson, M. (2009). Food for thought. What you eat depends on your sex and eating companions. *Appetite*, 53(2), 268-271.
104. Zellner, D. A., Loaiza, S., Gonzalez, Z., Pita, J., Morales, J., Pecora, D., & Wolf, A. (2006). Food selection changes under stress. *Physiology & Behavior*, 87(4), 789-93.
105. Zellner, D. A., Saito, S., & Gonzalez, Z. (2007). The effect of stress on men's food selection. *Appetite*, 49(3), 696-699.

5 Anlagen

5.1 Spezifizierung des eigenständigen wissenschaftlichen Beitrags

Hiermit bestätigen wir, dass Christoph Mühlberg in den folgenden Bereichen einen wichtigen Beitrag zur Publikation des folgenden Fachartikels:

Mühlberg, C., Mathar, D., Villringer, A., Horstmann, A., & Neumann, J. (2016). Stopping at the sight of food - How gender and obesity impact on response inhibition. *Appetite*, 107, 663-676.

geleistet hat:

- Aufstellen der Arbeitshypothesen der Studie unter Berücksichtigung der bereits existierenden Literatur
- Probandenrekrutierung aus der Datenbank des Max - Planck Institutes für Kognitions- und Neurowissenschaften anhand der vorher definierten Ein - und Ausschlusskriterien
- Erläuterung des Experimentes als Versuchsleiter für die zu testenden Probanden
- Datenerhebung mittels computergesteuerter Tasks (Rating Task und Stop Signal Task)
- Auswertung der verwendeten Fragebögen und Datenanalyse
- Interpretation der Studienergebnisse vor dem Hintergrund der aktuellen Literatur
- Verfassen des Manuskriptes
- Einarbeitung des ersten Peer - Review in das Manuskript

J. Neumann

A. Villringer

A. Horstmann

5.2 Erklärung über die eigenständige Abfassung der Arbeit

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar eine Vergütung oder geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Die aktuellen gesetzlichen Vorgaben in Bezug auf die Zulassung der klinischen Studien, die Bestimmungen des Tierschutzgesetzes, die Bestimmung des Gentechnikgesetzes und die allgemeinen Datenschutzbestimmungen wurden eingehalten. Ich versichere, dass ich die Regelungen der Satzung der Universität Leipzig zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis kenne und eingehalten habe.

Datum

Unterschrift

5.3 Publikationen

Mühlberg, C., Mathar, D., Villringer, A., Horstmann, A., & Neumann, J. (2016). Stopping at the sight of food - How gender and obesity impact on response inhibition. *Appetite*, 107, 663-676.

5.4 Lebenslauf

Persönliche Angaben

Name: Mühlberg
Vorname: Christoph
Geburtsdatum: 10.09.1990
Geburtsort: Leipzig
Wohnanschrift: Paulinerweg 35, 04299 Leipzig
Familienstand: verheiratet, 1 Kind
Staatsangehörigkeit: Deutsch



Schulbildung

09/1997 - 07/2001 Franz-Mehring-Grundschule Leipzig
09/2001 - 06/2009 Gymnasium Neue Nikolaischule Leipzig
Schulabschluss Allgemeine Hochschulreife: 1,5

Studium

10/2010 - 09/2012 Studium der Medizin - Universität Halle
09/2012 1. Staatsexamen: Note: sehr gut
seit 10/2012 Studium der Medizin - Universität Leipzig
10/2016 2. Staatsexamen: Note: sehr gut

Famulatur

09/2013 - 10/2013 Tagesklinik für kognitive Neurologie Leipzig
02/2014 - 03/2014 Hausarztpraxis Dr. med. Onnasch Leipzig
07/2014 Abteilung für Gastroenterologie - Helios Klinik Schleswig
08/2014 Abteilung für Pneumologie - Uniklinik Leipzig
02/2016 - 03/2016 Neurologie - Sana Klinikum Borna

Praktisches Jahr

11/2016 - 03/2017 Viszeralchirurgie - Kantonsspital Olten (Schweiz)
03/2017 - 07/2017 Innere Medizin - Parkkrankenhaus Leipzig
07/2017 - 10/2017 Wahlfach Neurologie - Uniklinik Leipzig

Wissenschaftlicher Werdegang

seit 09/2014 Promotion am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften: Untersuchung der inhibitorischen Kontrolle bei Adipositas
10/2014 - 05/2015 Doktorandenstipendium: Sonderforschungsbereich Mechanismen der Adipositas 1052

Praktika und Nebentätigkeiten

07/2009 - 03/2010	Zivildienst: Chirurgische Intensivstation - Uniklinik Leipzig
09/2011 - 07/2013	Ausbildung zum Rettungssanitäter
04/2012 - 07/2012	Tutor für Neuroanatomie Universität Halle
08/2013 - 09/2013	IFB Forschungspraktikum MS Pro

Interessen

- Feld- und Hallenhockey - ATV Leipzig 1845 e.V.

Leipzig, 10.08.2017

5.5 Danksagung

Ich möchte mich bei all den Menschen bedanken, die mich über die Jahre meiner Dissertation mit Rat und Ideen unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt meiner Betreuerin Jane, die stets ein offenes Ohr für meine Fragen hatte und mir interessante Einblicke in die Welt der Wissenschaft ermöglichte. Durch ihren stets geduldigen und freundlichen Zuspruch, arbeitete ich mit Freude an dem Vorankommen meiner Dissertation.

Mein Dank gilt auch meinen Eltern, meinen guten Freunden und meinen Kollegen aus dem O-Brain Project, die fachlich und persönlich eine große Bereicherung waren, sowie meinem Doktorvater Arno Villringer.

Außerdem möchte ich mich beim SFB 1052 für die großzügige finanzielle Förderung bedanken, welche mir diese Arbeit ermöglichte.

Zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie, Cassandra und Emilia, bedanken. Deren grenzenloser Rückhalt und Unterstützung, trotz der vielen Stunden und Tagen meiner Abwesenheit, war die Grundlage für das Vorankommen und die Fertigstellung meiner Arbeit.