

Aus Klinik für Radiologie
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Designpräferenzen claustrophobischer Patienten*Innen für
die Entwicklung zukünftiger MRT-Scanner

Design preferences of claustrophobic patients for the develop-
ment of future MRI-Scanners

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Elisa Weidner (geb. Iwan)

Datum der Promotion: 30.11.2023

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	iv
Abbildungsverzeichnis	v
Abkürzungsverzeichnis	vi
Zusammenfassung	1
1. Einleitung	4
1.1 Magnetresonanztomographie (MRT) in der Medizin	4
1.2 Angst in der Medizin	4
1.3 Klaustrophobie	5
1.4 Klaustrophobie in der Radiologie	6
1.5 Risikofaktoren für Klaustrophobie im MRT	7
1.6 Strategien zur Reduktion von Klaustrophobie im MRT	7
1.6.1 Sedierung	7
1.6.2 Sensorische Interventionen	8
1.6.3 Kognitive Verhaltenstherapie	8
1.6.4 Selbsthypnose und Virtual-Reality-Training	8
1.6.5 Patientenedukation	8
1.6.6 Scannerdesign und Klaustrophobie im MRT	9
1.7 Patienten-zentrierte MRT-Scanner: Scanner Design als modifizierbarer Risikofaktor für Klaustrophobie im MRT	10
1.7.1 Offene MRT-Systeme	10
1.7.2 Kurzzöhrenscanner	11
1.7.3 Geschlossene Scanner mit größerem Röhrendurchmesser	12
1.7.4 Sitzendes MRT	12
1.7.5 Mobile MRT-Geräte sowie dedizierte MRT-Untersuchungen	12
1.8 Einfluss des ersten Anblicks eines Scanners auf Klaustrophobie im MRT	13
1.9 Ziel und Hypothese der Arbeit	13

2. Methodik	15
2.1 Ablauf der Studie	15
2.2 Studienpopulation, Ein- und Ausschlusskriterien	15
2.3 Fragebogen zu den Präferenzen des Scannerdesigns.....	16
2.4 Endpunkte.....	18
2.5 Datenmanagement	20
2.6 Statistik	20
2.7 Darstellung des eigenen Anteils der Autorin.....	21
3. Ergebnisse.....	22
3.1 Patientenkohorte.....	22
3.2 Einfluss von Patienteninformation über die diagnostische Scannerleistung auf visuelle Designpräferenzen.....	23
3.3 Visuell präferierte Scannerdesigns für die Entwicklung zukünftiger Scanner	26
3.4 Einfluss akuter Klaustrophobie auf die visuellen Scannerpräferenzen	27
3.5 Einfluss vorangegangener Scannererfahrungen auf visuelle Scanner- präferenzen.....	29
3.6 Allgemeine Verbesserungsvorschläge für das MRT	31
4. Diskussion	33
4.1 Kurze Zusammenfassung der Ergebnisse.....	33
4.2 Interpretation und Einbettung in den bisherigen Forschungsstand.....	33
4.2.1 Visuell präferierte Scannerdesigns klaustrophobischer Patient*Innen für die Entwicklung zukünftiger Scanner	33
4.2.2 Einfluss von Patienteninformation über die diagnostische Scannerleistung auf visuelle Designpräferenzen	36
4.2.3 Einfluss akuter Klaustrophobie auf die visuellen Scannerpräferenz	37
4.2.4 Einfluss vorangegangener Scannererfahrungen auf visuelle Scanner- designpräferenzen.....	38
4.2.5 Allgemeine Verbesserungsvorschläge für das MRT	39

4.3 Stärken und Schwächen der Studie.....	40
4.4 Implikationen für Praxis und zukünftige Forschung	43
4.4.1 Technische Optimierung offener MRT-Scanner.....	43
4.4.2 Patient*Innen -Edukation vor dem MRT	44
4.4.3 Individuelle Zuweisung zu bestimmten Scannern anhand anamnestischer Vorerfahrungen	44
4.4.4 Konsequente Geräuschreduktion.....	45
4.4.5 Übersicht Implikationen der vorliegenden Studie	45
5. Schlussfolgerung	47
Referenzen	49
Eidesstattliche Erklärung	59
Anteilerklärung.....	60
Auszug aus der Journal Summary List (ISI Web of Knowledge SM)	61
Originalpublikation	62
Lebenslauf.....	73
Publikationsliste	75
Danksagung	76

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Patientencharakteristika der Studienpopulation.....	22
Tabelle 2	Veränderung der Scannerpräferenzen in Abhängigkeit von Information über die diagnostische Leistungsfähigkeit.....	24
Tabelle 3	Einfluss akuter Klaustrophobie auf Scannerdesignpräferenzen.....	28
Tabelle 4	Einfluss einer MRT-Untersuchung in einem bestimmten Scannerdesign auf Designpräferenzen.....	31
Tabelle 5	Allgemeine Verbesserungsvorschläge klaustrophobischer Patient*Innen für MRT-Scannerdesigns.....	32

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Anordnungen von Magneten in MRT-Geräten.....	9
Abbildung 2	Flowchart Studie.....	16
Abbildung 3	Scannerabbildungen im Fragebogen zu den Designpräferenzen.....	18
Abbildung 4	Scannerdesignpräferenzen klaustrophobischer Patient*Innen in Abhängigkeit von verschiedenen Fragestellungen.....	25
Abbildung 5	Einfluss der Information über eine unterschiedliche diagnostische Leistungsfähigkeit auf visuelle Designpräferenzen.....	26
Abbildung 6	Scannerdesignpräferenzen klaustrophobischer Patient*Innen für die Weiterentwicklung zukünftiger MRT-Scanner, um klaustrophobischen Patient*Innen in Zukunft eine MRT-Untersuchung zu ermöglichen.....	27
Abbildung 7	Einfluss akuter Klaustrophobie auf Designpräferenzen für die Scanner-Weiterentwicklung.....	29
Abbildung 8	Einfluss einer MRT-Untersuchung in einem bestimmten Scannerdesign auf Designpräferenzen.....	30

Abkürzungsverzeichnis

BMI = Body Mass Index

CLQ = Claustrophobia Questionnaire

CT = Computertomograph/Computertomographie

HADS = Hospital Anxiety and Depression Scale

GPM6A = Glycoprotein M6A

DSM-5 (4) = Diagnostisches und Statistisches Manual psychischer Störungen - 5

Kg = Kilogramm

MRT = Magnetresonanztomograph/-ie

PROs = Patient Reported Outcomes

SNR = Signal to Noise Ratio

STAI = State Trait Angstinventar

T = Tesla

Zusammenfassung

Designpräferenzen klaustrophobischer Patienten*Innen für die Entwicklung zukünftiger MRT-Scanner

Zielsetzung

Klaustrophobie ist eine relevante Komplikation von Untersuchungen in einem Magnetresonanztomographen (MRT). Strategien zur Reduktion von Klaustrophobie umfassen die Modifikation des MRT-Scannerdesigns und den Einsatz von Patientenedukation. Die vorliegende Arbeit untersucht den Einfluss der Wahrnehmung von MRT-Scannerdesignaspekten sowie spezieller Patienteninformation und Vorerfahrungen auf das Erleben von MRT-Untersuchungen bei Patient*Innen mit erhöhtem Klaustrophobierisiko.

Methodik

Die vorliegende Arbeit umfasst als Sekundäranalyse (1) einer randomisierten prospektiven monozentrischen Studie (2) die Ermittlung der MRT-Scannerdesign-Präferenzen von 160 klaustrophobischen Patient*Innen anhand einer schriftlichen Befragung nach Untersuchung in einem Kurzzöhren- oder offenen Panoramascanner. Der Fragebogen visualisierte vier Scannerdesigns und enthielt Informationen über diagnostische Scannerleistungen sowie eine offene Frage zu Verbesserungswünschen. Die Ergebnisse werden in der vorliegenden Arbeit in den wissenschaftlichen Kontext zum Thema Klaustrophobie im MRT eingeordnet und daraus abgeleitet werden Implikationen für eine verbesserte Patientenversorgung im MRT dargestellt.

Ergebnisse

Für die industrielle Weiterentwicklung zukünftiger MRT-Scanner bevorzugen Patient*Innen mit Klaustrophobie mehrheitlich nach oben und frontal offene Scanner (37%; 59/160) sowie horizontal geöffnete Panorama-Designs (33%; 53/160). Der visuelle Anblick des geschlossenen Scanners verursacht eine signifikant höhere Klaustrophobierate beim Betreten des Untersuchungsraumes (11/160; 6,9%) als der offene Scanner (0/160) ($p=0,01$). Information über eine bessere diagnostische Leistungsfähigkeit eines geschlossenen Kurzzöhrenscanners erhöht die Akzeptanz signifikant von 4% (6/160) auf 31% (49/160) ($p<0,001$). Patient*Innen mit einer erfolgreichen Untersuchung im Kurzzöhrenscanner präferieren signifikant häufiger ein geschlossenes Scannerdesign ($p=0,047$ bzw. $p=0,003$). Als Verbesserungsvorschläge werden insbesondere mehr Platz, vor allem über dem Kopf, und Lautstärkenreduktion genannt.

Zusammenfassung

Patient*Innen mit Klaustrophobie wünschen sich leisere und in mehr als 2/3 der Fälle eine Weiterentwicklung horizontal/frontal offener MRT-Scannerdesigns. Der Anblick des Scanners trägt zu einem signifikanten Anteil an Klaustrophobieereignisse bei. Information über eine bessere diagnostische Leistungsfähigkeit sowie anamnestisch erfolgreiche MRT-Untersuchungen in einem bestimmten Scannertyp verbessern die Scannerakzeptanz. Implikationen für die Klaustrophobiereduktion im MRT sind die Priorisierung der Weiterentwicklung horizontal/frontal offener gegenüber geschlossener Scanner sowie die routinemäßige Anamnese von Vorerfahrungen mit Scannerdesigns und explizite Patientinformation über diagnostischen Vorteile geschlossener Scanner.

Abstract

Design preferences of claustrophobic patients for the development of future MRI-Scanners

Objective

Claustrophobia is a relevant adverse event of examinations in magnetic resonance imaging (MRI) systems. Strategies to reduce claustrophobia encompass modification of MRI-scanner-design and education of patients. The following study examines the influence of the perception of MRI-scanner design features as well as specific patient information and previous experiences on the attitude towards MRI-examinations of patients with an increased risk for claustrophobia.

Methods

This study is based on results of a secondary analysis (1) of a randomized controlled prospective trial (2) and is aimed at examining preferences for MRI-scanner-designs of 160 claustrophobic patients. To this end patients filled out a questionnaire after a scan in either a short-bore or open panoramic scanner. The questionnaire depicted four scanners and comprised information about the diagnostic utility of each of those illustrated scanners as well as an open-ended question concerning suggestions for improvements of scanners. The results are contextualized into the larger scientific background of claustrophobia in the MRI and deduced implications for a better patient management in the MRI are presented.

Results

For future development of MRI-scanners by the industry a majority of claustrophobic patients prefer an upright open scanner (37%; 59/160) and an open panoramic scanner (33%; 53/160). The first sight of the closed scanner when entering the examination room caused significantly more claustrophobia (11/160; 6,9%) than the first sight of the open scanner (0/160) ($p=0,01$). Information about its better diagnostic utility increases preferences for a short bore scanner significantly from 4% (6/160) to 31% (49/160) ($p<0.001$). Patients with a successful scan in a short bore scanner prefer a closed short bore design significantly more often ($p=0,047$ and $p=0,003$). With regards to general improvements for scanners patients most commonly suggest more space, specifically over the head, and noise reduction.

Conclusion

Patients with claustrophobia focus on more open and less noisy MRI-scanner designs. In more than two thirds of cases patients prefer frontally or horizontally open systems over circular and closed scanner designs for future development. The visual impression of a scanner alone can cause claustrophobic events. Information about a better diagnostic utility as well as a history of successful scan in a specific scanner design carry the potential to increase patient acceptance. Possible implications for a reduction of claustrophobia in MRI are the prioritization of further development of open over closed systems and a medical history focusing on prior experiences with certain scanner designs as well as specific patient information about the better diagnostic utility of closed scanners.

1. Einleitung

1.1 Magnetresonanztomographie (MRT) in der Medizin

Das MRT hat in der klinischen Routine zu diagnostischen und interventionellen Zwecken einen entscheidenden Stellenwert. In Deutschland wurden im Jahre 2018 Schätzungen zu Folge 145 MRT-Untersuchungen/1000 Einwohner im ambulanten und stationären Bereich durchgeführt. Im Vergleich fanden in den USA im Jahr 2018 82 MRT-Untersuchungen/1000 Einwohner statt (5).

Das MRT ist ein nicht-invasives Verfahren, das im Vergleich zur Computertomographie (CT) keine Strahlenexposition mit sich bringt und somit zum Beispiel auch in der geburts-hilflichen Diagnostik eingesetzt werden kann (6). Im Rahmen der Brustkrebsfrüherken-nung zeigt das MRT Vorteile gegenüber der klassischen Mammographie. Durch das MRT ist beispielsweise eine Diagnose in früheren Brustkrebsstadien mit Möglichkeit der frühe-ren therapeutischen Intervention möglich (7).

Führende Internisten werteten zudem die MRT und CT als die wichtigsten von 30 medi-zinischen Innovationen, deren Fehlen am meisten nachteilige Effekte für die Patienten-versorgung bedeuten würde (8).

1.2 Angst in der Medizin

„Es ist niemals eine angenehme Erfahrung einen Arzt zu besuchen“. So wird ein Patient in einer Übersichtsarbeit über Angst und Sorge von Patient*Innen in ambulanter ärztlicher Behandlung zitiert (9). In den letzten Jahren hat die Evaluation der Patientenperspektive im Rahmen von „Patient Reported Outcomes“ (PROs) zunehmend an Bedeutung gewon-nen (10). Eine Dimension der PROs ist der psychologische Status der Patient*Innen, der auch die Evaluation von Angst, z.B. im präoperativen Kontext, umfasst (11). Das Diag-nostische und Statistische Manual-5 (DSM-5) definiert „Angst“ (engl. „anxiety“) als die Erwartung einer zukünftigen Gefahr und grenzt „Furcht“ (engl. „fear“) als eine emotionale Antwort auf eine unmittelbar bevorstehende reale oder subjektiv wahrgenommene Be-drohung ab (12, 13).

Angst und phobischen Störungen bei Patient*Innen in medizinischer Behandlung sind häufige Phänomene. Bei bis zu 27% aller internistischen und chirurgischen Patient*Innen kann erhöhte Ängstlichkeit anhand der „Hospital Anxiety and Depression Scale“ (HADS) gemessen werden (14). Vor allem Patient*Innen mit chronischen Erkrankungen zeigen hohe Raten an Angststörungen. So findet sich bei rund 48% der Patient*Innen mit einer

Krebserkrankung, 35% der Patient*Innen mit Parkinson und 22% der Patient*Innen mit kardiovaskulären Erkrankungen Symptome einer Angststörung (15). Dies hat auch ökonomische Relevanz für das Gesundheitssystem. So fallen für Patient*Innen mit begleitenden Ängsten höhere Gesundheitskosten zum Beispiel durch häufigere und längere Hospitalisierungen an (16, 17). Angst ist auch im präoperativen Setting ein häufiges Phänomen und empathische, Patient*Innen-zentrierte Interventionen können perioperative Angst reduzieren sowie die Wundheilung und Patientenzufriedenheit positiv beeinflussen (18).

Somit wird klar, dass phobische Störungen und deren Behandlung im klinischen Alltag ein relevantes Phänomen sind, dem es sich lohnt Beachtung zu schenken.

1.3 Klaustrophobie

Klaustrophobie ist eine spezifische Phobie, die zu den Sozialphobien zählt (19). Die Lebenszeitprävalenzdaten für spezifische Phobien werden in einer Größenordnung von 3-15% der Bevölkerung angegeben (20). Klaustrophobie setzt sich aus den Komponenten Angst vor „Einengung/Restriktion“ und vor „Ersticken“ zusammen (21, 22). Febbraro et al. betonen zudem auch kognitive und situative Phobiedimensionen von Klaustrophobie, beispielsweise „Angst vor Kontrollverlust“ und „Angst vor der Unfähigkeit zu entkommen“ (23).

Pathophysiologisch werden eine Involvierung frontaler Hirnregionen, der Amygdala sowie des Globus pallidus und Thalamus diskutiert (19). Die Amygdala ist als Teil des limbischen Systems für die Verarbeitung von Emotionen zuständig und die Amygdala ist an der Bildung neuronaler Korrelate im Rahmen der Konditionierung von Angststörungen entscheidend beteiligt (24).

Zudem gibt es Hinweise auf Stress-regulierte Gen-Regulationsmechanismen im Glycoprotein M6A –Gen (GPM6A-Gen), die mit einem klaustrophobischen Phänotyp assoziiert sind (25). Das Gen ist auf Chromosom 4q32-q34 gelegen, einer Region, die mit Angststörungen in Verbindung gebracht wird. Im Mausmodell kann gezeigt werden, dass bei Mäusen mit einer Mutation im GPM6A-Gen im Gegensatz zum Wildtyp durch Stresseinfluss ein klaustrophobischer Phänotyp induziert werden kann. Eine Gensequenzanalyse klaustrophobischer Patient*Innen zeigt zudem eine signifikant höhere Mutationsrate im Vergleich zu nicht-klaustrophobischen Patient*Innen im GPM6A-Gen (25). Außerdem können spezifische Phobien, wie Klaustrophobie, durch Umwelt und Entwicklungseinflüsse getriggert werden: beispielsweise kann ein Stimulus (z.B. traumatischer Aufenthalt

in einem beengten Raum) eine Amygdala–Aktivierung mit Angstreaktion ohne nachfolgende physiologische Angsthabituation auslösen (26).

1.4 Klaustrophobie in der Radiologie

Klaustrophobie in radiologischen Abteilungen ist häufig, vor allem bei MRT-, seltener aber auch bei CT-Untersuchungen (27). Die Häufigkeit von Klaustrophobie im MRT variiert in der Literatur zwischen 2,1%– 14,3 % (28-30).

Dabei zeigt sich eine Abhängigkeit der gemessenen Inzidenzraten von verschiedenen Einflussfaktoren wie zum Beispiel der Definition von klaustrophobischen Ereignissen. So definieren Napp et al. ein Ereignis als die Notwendigkeit einer nicht-pharmakologischen (z.B. Anwendung von Prismengläser) oder pharmakologischen (z.B. Applikation von sedierenden Medikamenten) Bewältigungsstrategie oder den frühzeitigen Abbruch einer Untersuchung (30). Dewey et al. hingegen definieren ein klaustrophobisches Ereignis als die Notwendigkeit einer rein pharmakologischen Intervention oder die Nicht-Durchführung der Untersuchung aufgrund von Klaustrophobie (28). Diese Unterschiede erklären die Schwankungsbreite der berichteten Inzidenzraten. Anhand der berichteten Klaustrophobieraten von 2,1-14,3% ist im Jahre 2018 in Deutschland, bezogen auf die durchgeführten MRT-Untersuchungen, von rund 250 000 bis 1,7 Millionen Fälle von Klaustrophobie auszugehen.

Damit hat Klaustrophobie im MRT relevante finanzielle Implikationen für das Gesundheitssystem (31). Ein MRT – Gerät ist eine kostenintensive Anschaffung. Diese lohnt sich, sobald der sogenannte Break-Even-Point erreicht ist, der sich über die Anzahl an kompletten Untersuchungen über die funktionale Lebensspanne eines Scanners definiert (31). Murphy et al. beziffern die jährlichen Kosten von abgebrochenen MRT-Untersuchungen aufgrund von Angstsymptomatik im Jahre 1993 in den USA auf 65 250 000 Dollar (29). Enders et al. schätzen, dass jährlich weltweit ca. 1 Milliarde Euro Klaustrophobie- assoziierte Kosten im MRT entstehen (2).

Klaustrophobie ist überdies ein sehr häufiger Grund für negative Patientenerfahrungen sowie nicht durchführbare MRT-Untersuchungen (32, 33). Verglichen mit anderen regelmäßig durchgeführten radiologischen Untersuchungen äußern Patient*Innen die höchste subjektive Unzufriedenheit mit dem Untersuchungsergebnis im MRT (34).

Klaustrophobie kann zudem die Diagnostik durch Bewegungsartefakte oder frühzeitig abgebrochene Untersuchungen behindern, was zu einer Verzögerung oder Verhinderung

von Therapiemaßnahmen führen kann. So zeigen Berg et al., dass 25,1% von Patient*Innen mit erhöhtem Brustkrebsrisiko eine MRT –Screening-Untersuchung der Brust wegen Klaustrophobie ablehnen (35).

Klaustrophobie stellt aus diesen Gründen ein relevantes Problem dar und wirksame Strategien zur Reduktion von Klaustrophobie im MRT-Umfeld werden benötigt.

1.5 Risikofaktoren für Klaustrophobie im MRT

Risikofaktoren für die Entwicklung von Klaustrophobie im MRT werden grundsätzlich in patienten-eigene und Untersuchungs-spezifische Faktoren differenziert.

Patientenseitige Faktoren sind zum Beispiel weibliches Geschlecht (28, 29, 36-38), höhere Edukationslevel (39) oder mittleres Alter (36).

Untersuchungs-spezifische Faktoren sind das Scannerdesign (40), eine lange Untersuchungsdauer (41), hohe Geräuschlevel (41, 42) sowie die Untersuchungsposition im Scanner (28, 37). Bezüglich der Scan-Position ist beschrieben, dass eine Untersuchung in Bauchlage oder isolierte Untersuchungen der Extremitäten die Klaustrophobierate reduzieren können, während für Kopf-Untersuchungen eine Assoziation mit gehäufterem Auftreten von Klaustrophobie nachgewiesen wurde (29, 36, 37, 43).

1.6 Strategien zur Reduktion von Klaustrophobie im MRT

Aufgrund der hohen Prävalenz von Klaustrophobie von bis zu 14,3% (29) und den assoziierten Kosten von jährlich 1 Milliarde Euro (2) gibt es diverse Versuche Klaustrophobie zu reduzieren. Neben der Modifikation des Scannerdesigns gibt es individuelle Interventionen wie Sedierung, sensorische Interventionen (z.B.: Bereitstellung von Prismengläsern oder Ohrstöpsel), kognitive Verhaltenstherapie oder Patientenedukation mit dem Ziel einer Klaustrophobiereduktion im MRT.

1.6.1 Sedierung

Eine in der Praxis oft angewandte Strategie zur Ermöglichung der Durchführung einer MRT-Untersuchung stellt die pharmakologische Sedierung vorwiegend mit anxiolytisch wirksamen Substanzen wie Benzodiazepinen dar (44-46). Jedoch ist eine Sedierung auch mit ernsthaften Nebenwirkungen wie Hypoxie oder Unfallgefahr vergesellschaftet und bedarf in der Sedierungstechnik geschultes und qualifiziertes Personal (45, 47, 48). Gerade bei älteren Patient*Innen kann es zudem bei der Anwendung von Benzodiazepi-

nen durch deren anticholinerge Wirkung zu einem Delir kommen, welches mit einer erhöhten Morbidität und Mortalität assoziiert ist (49, 50). Eine kritische Indikationsstellung bzw. wenn möglich Vermeidung von sedierenden Substanzen ist daher angebracht.

1.6.2 Sensorische Interventionen

Für sensorische Interventionen zur Klaustrophobiereduktion wie Applikation von beruhigenden Gerüchen (40, 51, 52) sowie entspannender Musik (40, 52) können reduzierte Angstlevel sowie eine subjektive Entspannungswirkung jedoch keine Reduktion der Klaustrophobierate nachgewiesen werden. Die Anwendung von Prismengläsern sowie Lärmschutz-Kopfhörern kann bei Kindern zwischen 4-10 Jahren eine Reduktion der Sedierungslevel erwirken (53, 54), ein Nachweis einer Reduktion der Klaustrophobierate durch sensorische Interventionen steht aber weiterhin aus.

1.6.3 Kognitive Verhaltenstherapie

Kognitive Bewältigungsstrategien in Verbindung mit Entspannungsmaßnahmen vor und während des MRT-Scans können eine signifikante Verringerung der Angstlevel, gemessen mit dem „State Trait Angstinventar“ (STAI), erwirken (55). Der Nachweis für eine Reduktion der Klaustrophobierate durch diese Maßnahmen fehlt bisher.

1.6.4 Selbsthypnose und Virtual-Reality-Training

Selbsthypnotische Verfahren zeigen sich bei der Reduktion von Klaustrophobie wirksam (56). Virtual-Reality-Training, bei dem im digitalen Format eine MRT-Untersuchung simuliert wird, kann eine Reduktion der Angstlevel bewirken und könnte im zukünftigen Management von Klaustrophobie eine Rolle spielen (57, 58).

1.6.5 Patientenedukation

Eine Reihe von Studien hat sich mit der Auswirkung von Patientenedukation auf die Klaustrophobierate beschäftigt. Insgesamt konnte eine Kombination von Relaxationstechniken bzw. untersuchungsbegleitender, kommunikativer Unterstützung mit spezifischen Informationen zum Scanner und dem Ablauf der Untersuchung die größte Reduktion der Angst- und Stresslevel bewirken (59-61). Es gibt bisher aber keinen Nachweis einer signifikanten Reduktion der Klaustrophobierate durch Patientenedukation und Entspannungstechniken.

1.6.6 Scannerdesign und Klaustrophobie im MRT

Ein entscheidender und potenziell modifizierbarer Risikofaktor für Klaustrophobie im MRT ist das Scannerdesign. Eine restriktive Scanner-Architektur stellt einen relevanten Risikofaktor für Klaustrophobie im MRT dar (40, 41).

Konventionelle MRT-Scanner sind klassischerweise technisch bedingt mit Magneten ausgestattet, die eine zylindrische, zirkumferentiell geschlossene Konfiguration mit einem Durchmesser von durchschnittlich 60 cm aufweisen (Abbildung 1). Dieses restriktive Design kann die der Klaustrophobie inhärenten Angstkomponenten „Restriktion“ und „Erstickung“ triggern und bei vulnerablen Patient*Innen Klaustrophobie auslösen (22, 41).

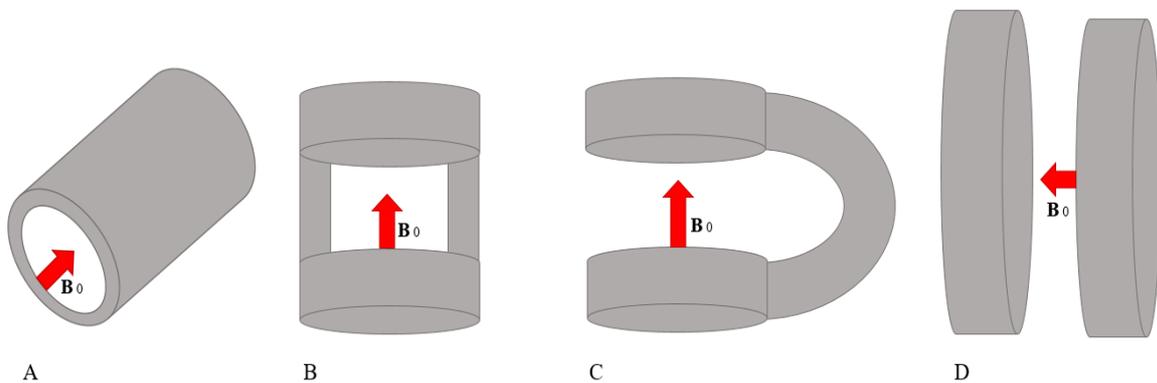


Abbildung 1: Anordnungen von Magneten in MRT-Geräten

A: geschlossener, zylindrischer, supraleitender Magnet, Hauptmagnetfeld B_0 orientiert sich entlang der Kopf-fußachse; **B:** offener, di-polarer supraleitender Magnet, Hauptmagnetfeld B_0 orientiert sich senkrecht zur Kopf-fußachse; **C:** offener, Dauermagnet, Hauptmagnetfeld B_0 orientiert sich senkrecht zur Kopf-fußachse; **D:** offener Magnet, Hauptmagnetfeld B_0 orientiert sich horizontal/quer zur Kopf-fußachse
 B_0 = Richtung des Hauptmagnetfeldes

Quellenangabe: adaptiert nach Overweg (3)

In den letzten Jahren gab es zunehmend Bemühungen sogenannte „Patienten-zentrierte“ MRT-Scanner zu entwickeln, die durch modifizierte Scannerdesigns die Untersuchung für die Patient*Innen angenehmer gestalten und die Erfolgsrate von MRT-Untersuchungen bei Klaustrophobie erhöhen sollen (28, 62-64) (Abbildung 1). Die Entwicklung von MRT-Scannern mit einem weniger restriktiven Design stellt die Hersteller allerdings vor Herausforderungen. Die Ansprüche an einen MRT-Scanner sind von verschiedenen Gesichtspunkten zu betrachten und häufig sind Kompromisse zwischen folgenden Anforderungen an den MRT-Magneten unabdingbar:

- 1) Bildqualität (z.B. Feldstärke, Feldhomogenität, Signal-to-Noise-Ratio (SNR))
- 2) Anschaffungs- und Unterhaltungskosten
- 3) Sicherheits- und Komfortaspekte (z.B. Patientenfreundliches Design, Lautstärkeregelung, Dauer)

4) kundenfreundliche Installation (z.B. leichte/kompakte Dimensionen, schnelle Installation, Instandhaltungsservice) (65).

Veränderungen der restriktiven Anordnung des Magneten im Scanners gehen oft mit Einbußen in der Feldstärke sowie der Bildqualität einher (66). Die Konfiguration des Magneten kann Einfluss auf die SNR, die Feldstärke sowie die Dauer des Scans haben. Zum Ausgleich dieser Nachteile müssen technische Modifikationen vorgenommen werden, wie zum Beispiel die Bereitstellung leistungsstärkerer Gradienten, welche die Preise für diese Systeme erhöhen können (67). Zudem müssen oft Einbußen in der diagnostischen Bildqualität sowie eine längere Untersuchungszeit in Kauf genommen werden (67).

Jedes MRT-Scannerdesign bringt demnach Vor- und Nachteile mit sich, die einer Güterabwägung unterliegen. Prinzipiell gibt es verschiedene Optionen Magneten an einem MRT-Gerät zu konfigurieren (Abbildung 1). Die Magneten können in a) zylindrischer Form mit einer solenoiden Spule, b) als Dipolmagnete c) oder als C-förmiger Permanentmagnet angelegt sein (3). Daraus ergeben sich, je nach Magnetanordnung, mehr oder weniger restriktive Dimensionen.

1.7 Patienten-zentrierte MRT-Scanner: Scanner Design als modifizierbarer Risikofaktor für Klaustrophobie im MRT

Die Modifikation des Scannerdesigns ist im Gegensatz zu Interventionen wie kognitiver Verhaltenstherapie, virtuellem Realitätstraining oder Sedierung im klinischen Alltag weder zeitintensiv noch für Patient*Innen nebenwirkungsbehaftet. Ein weiterer Vorteil ist, dass keine aufwendige Identifikation von Hochrisikopatient*Innen zum gezielten Einsatz dieser Interventionen notwendig ist. Ein Patienten-zentriertes Scannerdesign kann somit allen Patient*Innen ohne zusätzlichen Aufwand zugutekommen und die Patientenzufriedenheit erhöhen.

1.7.1 Offene MRT-Systeme

Offene MRT-Scanner zeichnen sich durch eine veränderte Anordnung des Magneten aus. Im Gegensatz zu geschlossenen Systemen mit einer zylindrischen Anordnung sind entweder zwei dipolare Elektromagneten oder ein C-förmiger Permanentmagnet gegenüber positioniert (Abbildung 1). So ist der horizontale Durchmesser bei horizontal konfigurierten Magneten im Vergleich zu geschlossenen Scannern fast 3-fach vergrößert und kann so einen nahezu 360-Grad Blick ermöglichen (z.B.: Philips Panorama HFO). Der vertikale Durchmesser, also der Platz zwischen dem Kopf des/der Patient*In und der

oberen Begrenzung des Untersuchungsraumes im Scanner, bleibt durchschnittlich allerdings durch Anordnung der Magneten auf Werte zwischen 35 - 58 cm begrenzt (68). Offene MRT-Geräte bieten dennoch bezüglich des Patientenkomforts diverse Vorteile. Vor allem für übergewichtige oder klaustrophobische Patient*Innen kann eine im konventionellen Gerät unmögliche MRT-Untersuchung in einem offenen Scanner ermöglicht werden (69).

Für offene MRT-Scanner konnte im Vergleich zu konventionellen, geschlossenen Systemen auch eine Reduktion der Klaustrophobierate gezeigt werden (63). Vor allem Klaustrophobie beim ersten Anblick des Scanners kann in offenen Geräten im Vergleich zu geschlossenen Kurzhöhren- Systemen reduziert werden (70). Jedoch zeigte sich im direkten Vergleich zum Kurzhöhrenscannern keine signifikante Reduktion der Klaustrophobierate, da beim offenen Gerät vermehrt Ereignisse beim Positionieren und während der Untersuchung auftraten (66, 70).

Nachteile vieler offenen Systeme sind allerdings die architektonisch bedingte Reduktion der Feldstärke durch die Magneten und eine limitierte SNR (67). Dies kann eine eingeschränkte Bildqualität sowie verlängerte Untersuchungszeiten bedingen (66).

1.7.2 Kurzhöhrenscanner

Im Vergleich zu konventionellen MRT-Scannern mit einer Röhrenlänge von bis zu 2,5m kann die Benutzung eines Kurzhöhrenscanners mit einer verkürzten Röhrenlänge von 1,6m die Klaustrophobierate signifikant reduzieren (z.B. MAGNETOM Avanto Siemens Healthineers)(28). Die aktuell verfügbaren Kurzhöhrenscanner haben allerdings durch die zylindrische Anordnung der Magneten einen beschränkten vertikalen sowie horizontalen Durchmesser von 60 bis max. 70 cm (68).

Im Vergleich zu konventionellen Scanner mit durchschnittlichen Durchmessern von ebenfalls 60cm kann dennoch eine signifikante Reduktion der Klaustrophobierate durch Kurzhöhrengeräte gezeigt werden (28). Im direkten Vergleich zwischen einem Kurzhöhrenscanner und einem offenen MRT lässt sich jedoch kein statistisch signifikanter Unterschied in der Klaustrophobierate über den gesamten Untersuchungsverlauf nachweisen (70). Jedoch zeigen sich im Vergleich zu den offenen MRT-Systemen mehr klaustrophobische Ereignisse beim ersten Anblick des Scanners (70), was mit dem geschlossenen Design und den dadurch ausgelösten phobischen Assoziationen mit Restriktion zusammenhängen könnte (22).

Stärken eines geschlossenen im Gegensatz zu einem offenen MRT- Systems sind die verkürzte Untersuchungszeit sowie die bessere Bildqualität (66) mit daraus ableitbaren diagnostischen Vorteilen.

1.7.3 Geschlossene Scanner mit größerem Röhrendurchmesser

Ein Kompromiss zwischen den Vorteilen geschlossener und offener Systeme ist die Erhöhung des Röhrendurchmessers mit einem geräumigerem MRT-Gantry (z.B. MAGNETOM Skyra Siemens Healthineers). Im Vergleich zu konventionellen Systemen mit einem Röhrendurchmesser von 60cm kann für einen Röhrendurchmesser von 70 cm eine Reduktion der Notwendigkeit einer Sedierung wegen Klaustrophobie in Hochrisikopatient*Innen nachgewiesen werden (64). Zudem berichten Patient*Innen über eine subjektiv bessere Patientenerfahrung nach einer Untersuchung in einem 70cm-durchmessenden geschlossenen Scanner als in einem geschlossenen Kurzröhrenscanner mit 60 cm Durchmesser. Jedoch zeigt sich in dieser Arbeit kein Unterschied in den Angstlevels zwischen den beiden Scannern und die Klaustrophobierate wurde nicht gemessen (71).

1.7.4 Sitzendes MRT

Offene MRTs, bei denen die Untersuchung neben der liegenden auch in sitzender Position vorgenommen werden kann, können vor allem in der dynamischen Diagnostik von Wirbelsäulenerkrankungen vorteilhaft sein (72). Das Scannerdesign ist frontal und nach oben geöffnet und die Magneten sind vertikal links und rechts der Patient*Innen angeordnet (z.B. FONAR UPRIGHT Multiposition MRI). Limitierend ist bei diesen Geräten allerdings eine Design-bedingt eingeschränkte Feldstärke und Bildqualität. Zum aktuellen Zeitpunkt liegen keine Daten vor, die das Potenzial dieser Geräte zur Reduktion von Klaustrophobie belegen. Jedoch gibt es Hinweise auf eine Reduktion von Bewegungsartefakten und Klaustrophobietendenzen, welche als Nebeneffekte anderer Studienendpunkte gemessen wurden (67, 73).

1.7.5 Mobile MRT-Geräte sowie dedizierte MRT-Untersuchungen

Portable MRT-Geräte (74) sowie dedizierte Scanner sind gezielt darauf ausgerichtet einzelne Körperregionen, wie zum Beispiel Extremitäten, isoliert zu untersuchen (75). Zudem sind auch modifizierte Scan-Methoden beschrieben, bei denen Patient*Innen nur einzelne Körperteile, wie zum Beispiel den Ellenbogen oder das Handgelenk, in einem konventionellen MRT-System untersuchen lassen ohne den gesamten Körper im Gerät

zu positionieren (76). Je nach diagnostischer Fragestellung können so Ganzkörper-MRT-Untersuchungen mit hohem Triggerpotenzial für Klaustrophobie vermieden werden.

1.8 Einfluss des ersten Anblicks eines Scanners auf Klaustrophobie im MRT

MacKenzie et al. zeigen in einer prospektiven Studie, dass ängstliche Patient*Innen, gemessen mit einer Abwandlung des STAI (77), bereits beim ersten Anblick eines MRT-Scanners Gefühle von Nervosität, Angst und Panik erleben (78). Enders et al. zeigen in einer sich überschneidenden Patientenkohorte mit der vorliegenden Arbeit, dass eine relevante Zahl klaustrophobischer Ereignisse bei Patient*Innen mit einem hohen Risiko für Klaustrophobie entweder schon beim Anblick des Scanners oder beim Positionieren im Scanner auftreten (70). Bei Untersuchungen in einem geschlossenen Kurzzöhrens scanner (Siemens Magnetom Avanto), der eine kürzere Röhre von 160 cm aufweist und so dem Gantry eines Computertomographen (CT) ähnelt, traten 33% der klaustrophobischen Ereignisse bereits beim Eintritt in den Untersuchungsraum auf und weitere 52% während der Positionierung im Scanner. Während der Untersuchung wurden nur 6% der Klaustrophobieepisoden aufgezeichnet. Bei Patient*Innen, die in einem offenen MRT-Scanner (Phillips Panorama) einen Klaustrophobievorfall erlebten, geschah dies bei nur 4% bei Betreten des Raumes aber nach Positionierung bei 87%, während im Verlauf der Untersuchung nur 9% der Fälle von Klaustrophobie auftraten (70).

Da sowohl der visuelle Anblick als auch die Positionierungsphase im Scanner entscheidend durch die individuelle, initiale Patientenwahrnehmung des Scannerdesigns geprägt wird, ist anzunehmen, dass das Scannerdesign ein relevanter modifizierbarer Faktor für Klaustrophobie im MRT darstellt.

1.9 Ziel und Hypothese der Arbeit

Aufgrund der Häufigkeit von Klaustrophobie im MRT und den oben dargestellten nachteiligen Folgen für Patient*Innen sowie den ökonomischen Auswirkungen für das Gesundheitswesen, besteht der dringende Bedarf Klaustrophobie im klinischen Alltag weiter zu reduzieren.

Ziel dieser Arbeit ist es daher vorrangig die visuellen und generellen Scannerdesignpräferenzen klaustrophobischer Patient*Innen zu beleuchten, um das Scannerdesign im klinischen Alltag zur Klaustrophobiereduktion besser modifizieren zu können. Zusätzlich werden auch die Auswirkungen von Patientenedukation über diagnostische

Scannerleistungen sowie Auswirkungen von akuter Klaustrophobie und von vorherigen Scannererfahrungen auf die Designpräferenzen untersucht. Da der erste visuelle Anblick eines MRT-Scanners einen relevanten Angst- auslösenden Faktor darstellt (78), konzentriert sich die Arbeit auf die visuellen Designpräferenzen klaustrophobischer Patient*Innen.

Ein weiteres Ziel der Arbeit ist es, zu untersuchen, ob Information über Vor- und Nachteile bezüglich der diagnostischen Leistungsfähigkeit eines Scanners die MRT-Wahrnehmung der Patient*Innen verändern kann. Die Bereitstellung individualisierter Patienteninformationen vor einer MRT-Untersuchung wird in der Literatur bereits als eine wichtige Intervention zum Angst –Management vorgeschlagen (79). Zudem ist in der Literatur beschrieben, dass Sorge um das diagnostische Ergebnis der MRT-Untersuchung zu Angstgefühlen im MRT beitragen kann (80). Die diagnostischen Ergebnisse hängen wiederum eng mit der Bildqualität und somit der diagnostischen Leistungsfähigkeit zusammen (66). Somit ist ein Einfluss von Information über die Leistungsfähigkeit eines Scanners eine denkbare Möglichkeit zur Angstreduktion.

Informationen über spezielle Scannerdesignpräferenzen klaustrophobischer Patient*Innen steht zum aktuellen Zeitpunkt noch aus. Munn et al. schlagen jedoch vor, dass die Patientenerfahrungen in der medizinischen Bildgebung besonders in bestimmten Patientengruppen untersucht werden sollen (81). Daher hat die aktuelle Arbeit die subjektiven MRT-Designvorlieben einer klaustrophobischen Studienpopulation zum Ziel.

Zudem gibt es Hinweise darauf, dass eine unangenehme MRT-Untersuchungserfahrung die Angstlevel und die Notwendigkeit einer Sedierung in einer weiteren MRT-Untersuchung erhöhen kann (29, 78, 82). Daher soll in der vorliegenden Arbeit der konkrete Einfluss eines vorherigen Ereignisses von Klaustrophobie im MRT sowie der Einfluss einer individuellen Scannererfahrung in einem bestimmten MRT-Design auf die Scannerpräferenzen beurteilt werden.

Die so gewonnenen Erkenntnisse können Anregungen für die Industrie zur Designentwicklung neuer Patienten-zentrierter MRT- Scanner geben. Im klinischen Alltag könnten die Ergebnisse zudem helfen, eine MRT-Untersuchung für individuelle klaustrophobische Patient*Innen besser zu planen. So könnte zum Beispiel für eine Untersuchung ein präferiertes MRT-Gerät gewählt und gegebenenfalls eine individuelle Patientenedukation vor der Untersuchung angeboten werden.

2. Methodik

2.1 Ablauf der Studie

Die vorliegenden Daten wurden im Rahmen einer monozentrischen, prospektiven randomisiert-kontrollierten Studie im Zeitraum vom 19.6.2008 bis zum 14.8.2009 erhoben (2, 66, 70). Patient*Innen mit einem erhöhten Risiko für Klaustrophobie wurden entweder zu einer Untersuchung in einem 1,5T- Kurzröhrenscanner (MAGNETOM Avanto Siemenshealthineers, Magnetlänge: 150cm, Röhrenquerdurchmesser 60 cm) oder in einem 1- T- offenen Panoramascanner (Phillips Panorama HFO, Öffnungsfläche 45cm vertikal x 160cm horizontal) randomisiert.

Nach der Untersuchung erhielten die Patient*Innen einen Fragebogen zu Präferenzen bezüglich des Scannerdesigns (Abbildung 2, Fragebogen siehe Publikation (1)).

Für die Studie wurde ein Ethikvotum von der Ethikkommission der Charité eingeholt, vor der Randomisierung erfolgte eine schriftliche, informierte Einwilligung durch die Patient*Innen in die Studie sowie Datenaufarbeitung. Die Registrierung erfolgte bei ClinicalTrials.gov (NCT00715806). Die klinische Studie wurde nach den Maßgaben der Deklaration von Helsinki sowie dem Medizinproduktegesetz durchgeführt. Die Auswertung, Interpretation und Veröffentlichung der Studiendaten erfolgte unabhängig von finanzieller Unterstützung der Industrie.

2.2 Studienpopulation, Ein- und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterien waren die Indikation für eine elektive MRT-Untersuchung des Kopfes, der Schulter oder der Wirbelsäule, ein ausgefüllter Fragebogen zur Patientenzufriedenheit sowie ein erhöhtes Risiko für Klaustrophobie im MRT mit einem Wert von mindestens eins im „Claustrophobia Questionnaire“ (CLQ) (83).

Der CLQ ist ein validierter Fragebogen, der die Klaustrophobie- Komponenten Angst vor Einengung und Ersticken in 26 Fragen abfragt (83). Napp et al. konnten einen hohen negativ prädiktiven Wert von 98% für CLQ-Werte ab einem Cut-Off von <0,33 identifizieren. Ein validierter Screening-Test, der ein klaustrophobisches Ereignis im MRT mit einem hohen positiv prädiktiven Wert voraussagen kann, ist nach aktuellem Wissenstand jedoch nicht verfügbar (30).

Die Wahl der Untersuchungsregionen für die Einschlusskriterien stützen sich auf Daten von 2007, die belegen, dass in entwickelten Ländern ein Großteil der MRT-Untersuchungen auf Kopfuntersuchungen (25%) und Wirbelsäulenuntersuchungen (26%) entfallen (65). Sie sind somit gut generalisierbar. Zudem zeigen Kopf- und Ganzkörper-

MRT-Untersuchungen ein erhöhtes Risiko für Klaustrophobie (37). Ausschlusskriterien waren eine Kontraindikation zur MRT-Untersuchung, ein Körpergewicht von mehr als 200 Kg bzw. eine Unfähigkeit aufgrund anatomischer Begebenheiten eine MRT-Untersuchung durchzuführen, ein Alter weniger als 18 Jahre sowie eine Notfallindikation zum MRT oder die Ablehnung der Studienteilnahme.

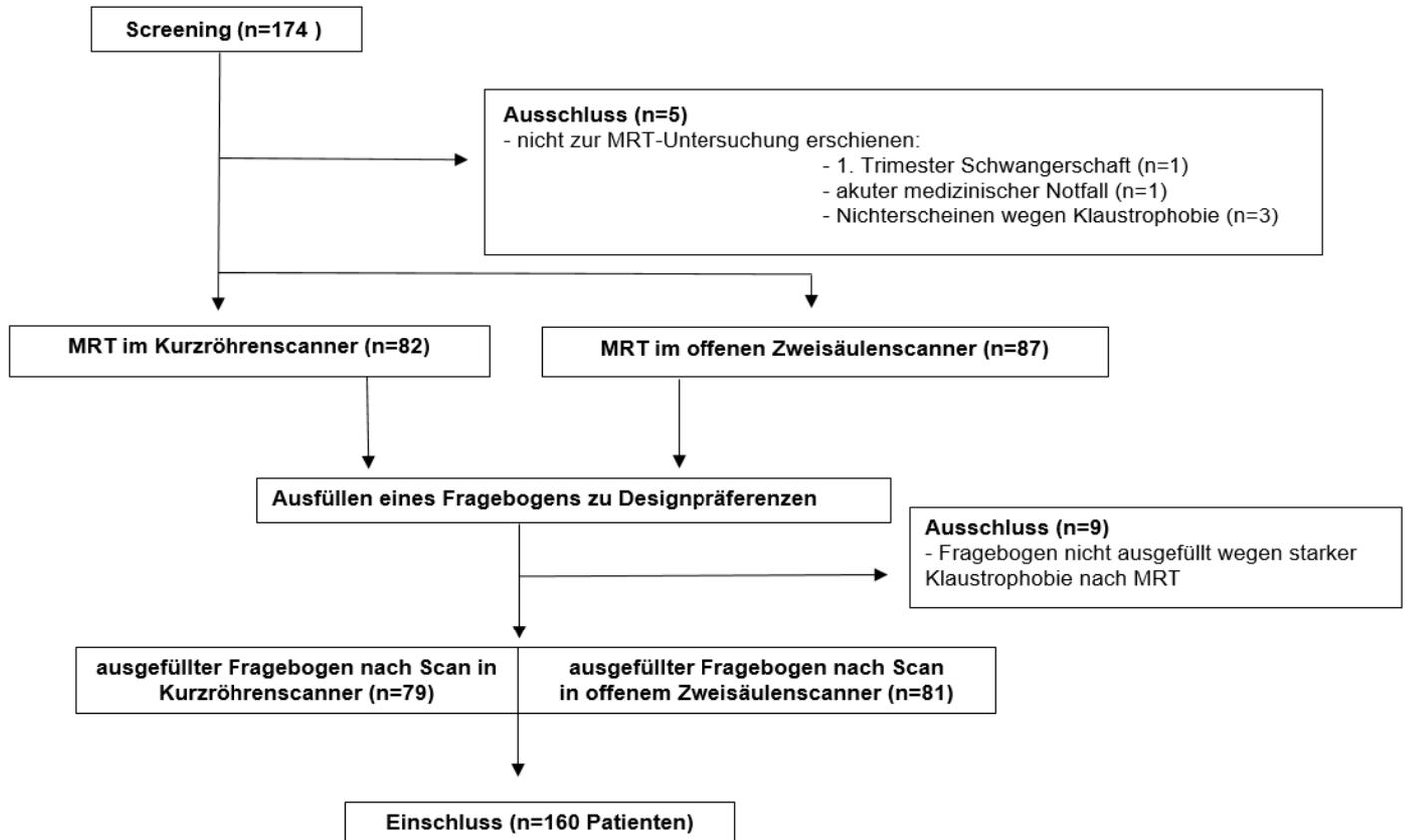


Abbildung 2: Flowchart Studie

Es erfolgte ein Screening von 174 volljährigen Studienteilnehmer*Innen mit Indikation zu einer elektiven MRT-Untersuchung des Kopfes, der Schulter oder der Wirbelsäule und einem erhöhten Risiko für Klaustrophobie ($CLQ \geq 1$). Es erfolgte eine Randomisierung zur entweder einem Kurzzylinder (MAGNETOM Avanto Siemenshealthineers) oder offenen Zweisäulenscanner (Phillips Panorama HFO). Insgesamt wurden 160 Studienteilnehmer*Innen zur Datenanalyse eingeschlossen, die zur der Untersuchung in dem randomisierten Scanner erschienen sind und den Fragebogen zu den Designpräferenzen ausgefüllt haben.

Quellenangabe: verändert aus Iwan et al. (1)

2.3 Fragebogen zu den Präferenzen des Scannerdesigns

Der Fragebogen zu den Präferenzen bezüglich des Scannerdesigns wurde zielgerichtet für die Studie entworfen und gliedert sich in vier Fragen (1).

Die ersten drei Fragen beziehen sich auf graphisch dargestellte, schematische Zeichnungen von vier verschiedenen MRT-Scannerdesigns als visuelle Trigger für architektonische Designpräferenzen. Abgebildet sind: a) ein offenes Panorama- Gerät mit zwei horizontal angeordneten Magneten und zwei vertikalen Säulen, b) ein geschlossener

Kurzröhrenscanner, c) ein offenes Gerät mit horizontal angeordneten Magneten und mit einer vertikalen Säule sowie d) ein frontal und oben offenes Gerät mit der Möglichkeit der sitzenden Scanposition (Abbildung 3, Enders et al.(2)). Im Verlauf der Fragestellungen wurde zudem Information über die diagnostische Leistungsfähigkeit der einzelnen Scanner –Modelle gegeben (Abbildung 3). Die diagnostische Leistungsfähigkeit orientiert sich an der für den handelsüblichen Scannertyp typischen Feldstärke gemessen in Tesla (T). Eine höhere Feldstärke korreliert dabei im Allgemeinen für bestimmte Untersuchungen mit einer besseren Bildqualität und hat somit, je nach diagnostischer Fragestellung, Auswirkungen auf das diagnostische Potenzial eines Scanners. Die diagnostische Leistungsfähigkeit der Scanner wird im Fragebogen in absteigender Reihenfolge folgendermaßen dargestellt, wobei die diagnostische Leistung in Klammern angegeben wird: Kurzröhrenscanner B („sehr gut“) > offenes Gerät mit zwei Säulen A („gut“) > frontal und oben offenes Gerät in sitzender Position D („genügend“) > offenes Gerät mit einer Säule C („mäßig“) (Abbildung 3). Die Einteilung in „sehr gut“ bis „mäßig“ erfolgte orientierend an Hand der folgenden Feldstärken gemessen in Tesla (T), die den handelsüblichen Gerätevorbildern der Scannerskizzen auf dem Fragebogen entsprechen: 1,5T Kurzröhrenscanner („sehr gut“), 1T offenes Gerät mit zwei Säulen („gut“), 0,6T frontal und oben offenes Gerät in sitzender Position („genügend“), 0,4T offenes Gerät mit einer Säule („mäßig“). Diese Einteilung orientiert sich an MRT-Scanner-Feldstärken, die sich, je nach Definition, in „Low Field“-Systeme mit Feldstärken von 0,25-1 T und „High-Field“-Systeme mit Feldstärken von mehr als 1 Tesla gliedern lassen (68).

Die ersten beiden Fragen des Fragebogens zielen auf den Einfluss von spezifischer Patienteninformation über die unterschiedlichen diagnostischen Leistungsfähigkeiten der abgebildeten Scanner auf Designpräferenzen für eine hypothetische zukünftige MRT-Untersuchung ab.

Die dritte Frage erfragte das generell präferierte Scannerdesign zur Weiterentwicklung, um allen klaustrophobischen Patient*Innen in Zukunft eine MRT-Untersuchung erleichtern zu können. Zur Beantwortung dieser Frage standen den Studienteilnehmer*Innen neben den Designskizzen auch die Informationen zur diagnostischen Leistungsfähigkeit zur Verfügung.

Die vierte Frage adressierte in einer offenen Frage allgemeine Verbesserungsvorschläge von MRT-Scannern, um die MRT-Untersuchung für Patient*Innen in Zukunft ansprechender zu gestalten.

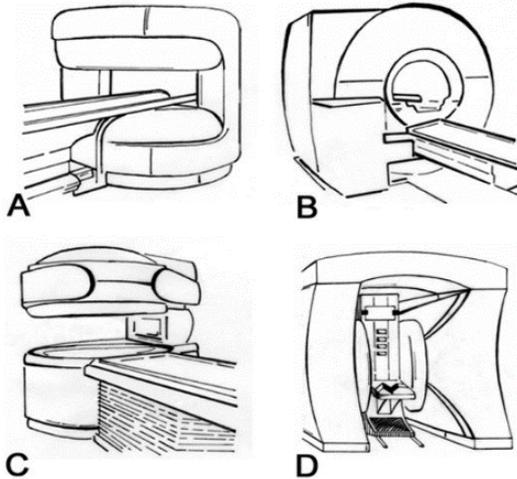


Abbildung 3: Scannerabbildungen im Fragebogen zu den Designpräferenzen

A: offenes Gerät mit zwei Säulen (diagnostische Leistungsfähigkeit „gut“); **B:** Kurzröhrenscanner (diagnostische Leistungsfähigkeit „sehr gut“); **C:** offenes Gerät mit einer Säule (diagnostische Leistungsfähigkeit „mäßig“); **D:** frontal und oben offenes Gerät in sitzender Position (diagnostische Leistungsfähigkeit „genügend“)

Quellenangabe: Enders et al.(2) und verändert aus Iwan et al. (1)

2.4 Endpunkte

Die Entwicklung der Fragestellung der vorliegenden Arbeit erfolgte nach ausführlicher Literaturrecherche in Zusammenschau mit den in den Bögen erhobenen Fragekomplexen durch die Autorin.

Insgesamt wurden im Rahmen dieser Arbeit folgende Fragestellungen zur Beantwortung abgeleitet:

- 1) Welches MRT-Scanner –Design präferieren Patient*Innen mit einem hohen Risiko für Klaustrophobie visuell und sollte nach Einschätzung der Patient*Innen von der Industrie weiterentwickelt werden, um klaustrophobischen Patient*Innen zukünftige MRT-Untersuchungen zu erleichtern?
- 2) Welchen Einfluss hat die Information über die diagnostische Leistungsfähigkeit eines MRT-Scanners auf die visuellen Scannerpräferenzen klaustrophobischer Patient*Innen?
- 3) Welchen Einfluss hat das Vorhandensein eines Klaustrophobieereignisses auf die visuelle Scannerwahrnehmung?

- 4) Welchen Einfluss hat die Untersuchungserfahrung in einem offenen Scanner oder geschlossenen Kurzhöhrengerät auf die visuellen Designpräferenzen?
- 5) Welche speziellen Wünsche und Ansprüche haben klaustrophobische Patient*Innen an zukünftige MRT-Geräte?

Details zur Ableitung dieser Fragestellungen werden im Folgenden nun detailliert dargestellt.

Die Bedeutung des Scannerdesigns für den Patientenkomfort und der Zusammenhang zwischen Design-Aspekten eines MRT-Gerätes und der Klaustrophobierate ist vielfach belegt (28, 40, 41, 63, 69). In der Literatur wird die Notwendigkeit einer Berücksichtigung von individuellen Patientenerfahrungen und die Bereitstellung von Information und spezieller Unterstützung bei der MRT-Untersuchung betont (81).

Ziel dieser Arbeit ist es demnach die speziellen Designpräferenzen von Patient*Innen mit erhöhtem Risiko für Klaustrophobie darzustellen. Dies kann dazu beitragen die Entwicklung von zukünftigen Scannern nach den Wünschen klaustrophobischer Patient*Innen zu lenken und die Scannerakzeptanz zu erhöhen.

Zu 1): Hierzu wurde ein Fragebogen mit schematischen Scannerdesign-Zeichnungen als visueller Trigger verwendet. Begründet ist die Wahl einer visuellen Designdarstellung in der Tatsache, dass der erste Anblick und somit die visuelle Wahrnehmung des Scanners als ein wichtiger Auslöser klaustrophobischer Ereignisse beschrieben wurde (78). Dies konnte auch, zuvor von Enders et al. publiziert, in dem vorliegenden Patientenklientel reproduziert werden (70).

Zu 2): In der Literatur wird darüber hinaus eine positive Wirkung von Patientenedukation auf die Angstlevel im MRT beschrieben (59, 61, 84). In der aktuellen Arbeit erfolgte die Exploration des Effektes einer spezifischen Edukation über die diagnostischen Vorteile bestimmter Scannerdesigns auf die Designpräferenzen klaustrophobischer Patient*Innen. Hierdurch könnte hypothetisch im Sinne einer positiven kognitiven Umstrukturierung die Untersuchung in einem visuell weniger ansprechenden MRT-Gerät erleichtert werden. Gestützt wird diese Hypothese auf Daten, die als einen Klaustrophobietrigger Kognitionen wie „Schaden oder Nachteile, die durch das Gerät angerichtet werden können“, identifiziert haben (85).

Zu 3) und 4): Da Patient*Innen den Fragebogen direkt nach einem Scan entweder in einem Kurzzöhrenscanner oder in einem offenen MRT-Gerät beantworteten, erfolgte die Analyse der Designpräferenzen auch in Bezug auf die unmittelbar vorangegangene MRT-Erfahrung sowie ein unmittelbar in der Studie aufgetretenem Klaustrophobieereignis in einem bestimmten Scanner. Ein Klaustrophobiefall wurde gewertet als eine Unmöglichkeit, die MRT-Untersuchung in dem randomisierten Scanner zu beenden. Diese Auswertung könnte über einen möglichen Zusammenhang zwischen vorherigen Scannererfahrungen und Designpräferenzen informieren und in der klinischen Routine zur individuellen Wahl eines passenden Scannerdesigns anhand anamnestischer Daten zur MRT-Vorerfahrungen beitragen.

Zu 5): In einer offenen Frage wurden allgemeine Verbesserungsvorschläge von Patient*Innen bezüglich des Scannerdesigns erfragt, um möglichst breite Information über die speziellen Wünsche klaustrophobischer Patient*Innen zu erhalten.

2.5 Datenmanagement

Die Daten der eingeschlossene Patient*Innen wurden in einer digitalen Tabelle erfasst und mit einem Pseudonym versehen. Die Speicherung der Daten erfolgte auf einem mit Kennwort gesicherten Forschungsserver, um die Sicherheit der Patientendaten zu gewährleisten. Validierung der Ergebnisse erfolgte durch Plausibilitätsprüfung. Die Auswertung der Daten erfolgte zum Teil unabhängig voneinander durch die Autorin dieser Arbeit sowie Koautoren (Dr. med. Judith Enders, Jinhua Yang), um die Gefahr von systematischen Fehlern durch die Auswertung nur eines Untersuchers zu minimieren. Daten von Patient*Innen mit unausgefüllten Fragebögen zu den Designpräferenzen wurden aus der vorliegenden Arbeit im Sinne eines Eliminierungsverfahrens oder Complete-Case-Ansatzes ausgeschlossen.

2.6 Statistik

Die statistische Analyse erfolgte mit den Programmen „IBM SPSS Statistics 23“ sowie „R (Version 3.4.1)“ durch Elisa Weidner (geb. Iwan) und Jinhua Yang. Für die statistische Auswertung wurde, je nach Variablentyp, Chi-Quadrat –Anpassungstest, Pearson´s Chi-Quadrat-Test, Fisher-Exact-Tests sowie t-Tests verwendet. Für den intraindividuellen Vergleich des Einflusses des Vorhandenseins von Informationen über die Scannerleistung auf die Designpräferenzen wurde ein Test für marginale Homogenitäten verwendet.

Ein 95% multinomiales Konfidenzintervall sowie ein Signifikanzniveau von 5% ($p=0,05$) wurden gewählt.

2.7 Darstellung des eigenen Anteils der Autorin

Im Zuge der vorliegenden Arbeit wurden die oben beschriebenen Fragebögen ausgewertet sowie analysiert. Aus diesen Daten erfolgte der Entwurf einer Fragestellung sowie die Zusammenfassung der Ergebnisse und deren Diskussion im klinischen Kontext im Rahmen einer Publikation (1). Die Autorin dieser Arbeit hat den Entwurf der Fragestellung der Publikation, die Auswertung der Daten sowie die Literaturrecherche selbstständig gemeinsam mit Judith Enders, Dr. med. Matthias Rief sowie den Betreuern der Promotion durchgeführt. Zudem hat die Autorin die Abbildungen und Tabellen sowie den Text der Publikation selbstständig unter Supervision der Promotionsbetreuer entworfen und verfasst. Die in den Abbildungen und Tabellen verwendeten schematischen Zeichnungen der MRT-Scanner sind von Judith Enders. Die statistische Auswertung erfolgte zusammen mit der in Statistik ausgebildeten Kollegin Jinhua Yang. Das Einreichen zur Publikation sowie die Überarbeitung nach Maßgabe der Peer-Reviewer erfolgte ebenso durch die Autorin in Rücksprache mit den Supervisoren.

3. Ergebnisse

3.1 Patientenkohorte

Insgesamt wurden 174 Patient*Innen randomisiert, hiervon füllten 160 Patient*Innen (92%) den Fragebogen zu den Designpräferenzen aus und wurden somit in die Studie eingeschlossen. 14 Patient*Innen füllten den Fragebogen nicht aus. Gründe hierfür waren Erst-Trimester Schwangerschaft, akute Krankheit sowie schwere Klaustrophobie vor und nach der MRT- Untersuchung (Abbildung 2). Insgesamt trat bei 44 Patient*Innen (27,5%) der eingeschlossene Patient*Innen ein klaustrophobisches Ereignis auf. Die Verteilung der Patientencharakteristika in den beiden Scannergruppen zeigte sich, mit Ausnahme des Zeitpunktes des Auftretens von Klaustrophobie, ohne signifikante Unterschiede (Tabelle 1).

Tabelle 1

Patientencharakteristika der Studienpopulation

Patientencharakteristika	Gesamte Kohorte	Kurzröhren-scanner "Avanto"	Offener Scanner "Panorama"	p-Wert
Patientenzahl n	160	79	81	0,31 *
Alter	53,45±12,8	54,6±12,8	52,3±12,9	0,266 °
BMI	28,2±6,5	27,5±7	28,9±6,6	0,181 °
Weiblich n (%)	127 (79,4)	63(79,7)	64(79)	0,97 *
anamnestische MRT-Vorerfahrung n (%)	131(81,9)	63(79,8)	68(84)	0,83 *
Klaustrophobieereignisse n (%)	44(27,5)	27(34,2)	17(21)	0,16 *
Klaustrophobie beim ersten Scanner-anblick n (%)	11(6,9)	11(13,9)	0(0)	0,001 *
Klaustrophobie bei der Lagerung n (%)	29(18,1)	14(17,7)	15(18,5)	0,91 *
Klaustrophobie während der Untersuchung n (%)	4(2,5)	2(2,5)	2(2,5)	0,333 ²
cMRT n (%)	36(22,5)	17(21,5)	19(23,5)	0,82 *
Schulter-MRT n (%)	26(16,3)	14(17,7)	12(14,8)	0,67 *
HWS/BWS-MRT n (%)	31(19,4)	14(17,7)	17(21)	0,67 *
BWS/LWS-MRT n (%)	57(35,6)	29(36,7)	28(34,6)	0,85 *
HWS-LWS-MRT n (%)	10(6,3)	5(6,3)	5(6,2)	0,97 *

Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in der Verteilung der oben genannten Variablen. Ausnahme bildet das Auftreten von Klaustrophobie beim Anblick des Scanners, welches signifikant seltener bei dem Patient*Innen im offenen Scanner auftrat. Insgesamt zeigte sich jedoch kein signifikanter Unterschied in der Gesamtklaustrophobierate zwischen einem offenen MRT und Kurzröhren-MRT.

* Chi Square Test

°T-Test

² Fisher Exact Test

cMRT = cerebrales MRT

HWS = Halswirbelsäule

BWS = Brustwirbelsäule

LWS = Lendenwirbelsäule

Quellenangabe: verändert aus Iwan et al. (1)

3.2 Einfluss von Patienteninformation über die diagnostische Scannerleistung auf visuelle Designpräferenzen

Unter der Prämisse, dass alle vier, auf dem Fragebogen abgebildeten Scannerdesigns die gleiche diagnostische Leistungsfähigkeit haben, wählten Patient*Innen für eine hypothetische zukünftige MRT-Untersuchung mehrheitlich ein frontal und oben offenes MRT mit der Möglichkeit einer sitzenden Scanposition (51,9%; 83/160) gefolgt von einem offenen Einsäulenscanner (23,1%; 37/160) sowie einem offenen Zweisäulenscanner (21,3%; 34/160). Nur eine Minderheit der Patient*Innen präferierte so den geschlossenen Kurzröhrencscanner (3,8%; 6/160) (Abbildung 4).

Nach Information über eine bessere diagnostische Leistungsfähigkeit des Kurzröhren- und offenen Zweisäulenscanners, änderte sich die Präferenz signifikant ($p < 0,001$, Tabelle 2): mehrheitlich präferierten Patient*Innen nun den offenen Zweisäulenscanner (51,9%; 83/160) und den Kurzröhrencscanner (30,5%; 49/160) vor dem frontal und oben offenen, sitzenden MRT (13,8%; 22/160) und dem offenen Einsäulenscanner (3,8%; 6/160) (Abbildungen 4+5).

Tabelle 2

Veränderungen der Scannerpräferenzen in Abhängigkeit von Information über die diagnostische Leistungsfähigkeit

		Frage 1: Bevorzugtes Design unter Annahme gleicher diagnostischer Leistungsfähigkeit n = 160	95% CI	Frage 2: Bevorzugtes Design unter Annahme verschiedener diagnostischer Leistungsfähigkeit n = 160	95% CI	Veränderung der Präferenz nach Information über die verschiedenen diagnostischen Leistungen der Scanner
Kurzröhrenscanner (Leistung: "sehr gut") n (%)		6 (3,8)	1,7-7,9	49 (30,5)	24,0 -38,2	p<0,001*
offener Zweisäulen-scanner (Leistung: "gut") n (%)		34 (21,3)	15,6-28,2	83 (51,9)	44,2 - 59,9	
frontal offener Scanner in sitzender Position (Leistung: "genügend") n (%)		83 (51,9)	44,2-59,5	22 (13,8)	9,3 -19,9	
offener Einsäulenscanner (Leistung: "mäßig") n (%)		37 (23,1)	17,3-30,2	6 (3,8)	1,7-7,9	

Die Scannerdesignpräferenzen veränderten sich nach Information über die unterschiedliche diagnostische Leistungsfähigkeit der zur Wahl stehenden Scannerdesigns signifikant ($p < 0,001$). Insgesamt entschieden sich Patient*Innen nach Informationen über eine bessere diagnostische Leistungsfähigkeit eher für Scannerdesigns, die ohne Informationen über die diagnostische Leistungsfähigkeit weniger häufig präferiert wurden.

*p-Wert berechnet mit dem Test für marginale Homogenitäten

Quellenangabe: verändert aus Iwan et al. (1)

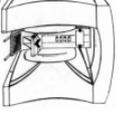
	Frage 1: Bevorzugtes Design unter Annahme gleicher diagnostischer Leistungsfähigkeit (n = 160)	Frage 2: Bevorzugtes Design unter Annahme verschiedener diagnostischer Leistungsfähigkeit (n = 160)	Frage 3: insgesamt bevorzugtes Design für die zukünftige Weiterentwicklung zur Klausurobliereduktion (n = 160)	Antworten auf Frage 3 von Patient*innen ohne vorangegangenes Klausuroblierereignis (n = 116)	Antworten auf Frage 3 von Patient*innen mit vorangegangenem Klausuroblierereignis (n = 44)	Antworten auf Frage 3 von Patient*innen mit vorangegangenem Scan in einem Kurzröhrenscanner (n = 79)	Antworten auf Frage 3 von Patient*innen mit vorangegangenem Scan in einem offenen Zweisäulenscanner (n = 81)
Kurzröhrenscanner (Leistung: "sehr gut")	3,8% (6/160)	30,5% (49/160)	16,3% (26/160)	19,8% (23/116)	6,8% (3/44)	27% (21/79)	6% (5/81)
	21,3% (34/160)	51,9% (83/160)	33,1% (53/160)	31% (36/116)	38,7% (17/44)	27% (21/79)	40% (32/81)
offener Zweisäulenscanner (Leistung: "gut")							
	51,9% (83/160)	13,8% (22/160)	36,9% (59/160)	32,8% (38/116)	47,7% (21/44)	31% (25/79)	42% (34/81)
frontal offener Scanner in sitzender Position (Leistung: "genügend")							
	23,1% (37/160)	3,8% (6/160)	13,8% (22/160)	16,4% (19/116)	6,8% (3/44)	15% (12/79)	12% (10/81)
Einsäulenscanner (Leistung: "mäßig")							
p-Wert		p < 0,001*	p < 0,001**		p = 0,047°		p = 0,003°

Abbildung 4: Scannerdesignpräferenzen klausuroblier Patient*innen in Abhängigkeit von verschiedenen Fragestellungen

* Test für marginale Homogenitäten

** Vierfeldertest für die Gleichheit der Verteilung

° Pearsons's Chi-Square Test °

Quellenangabe: verändert aus Iwan et al. (1)

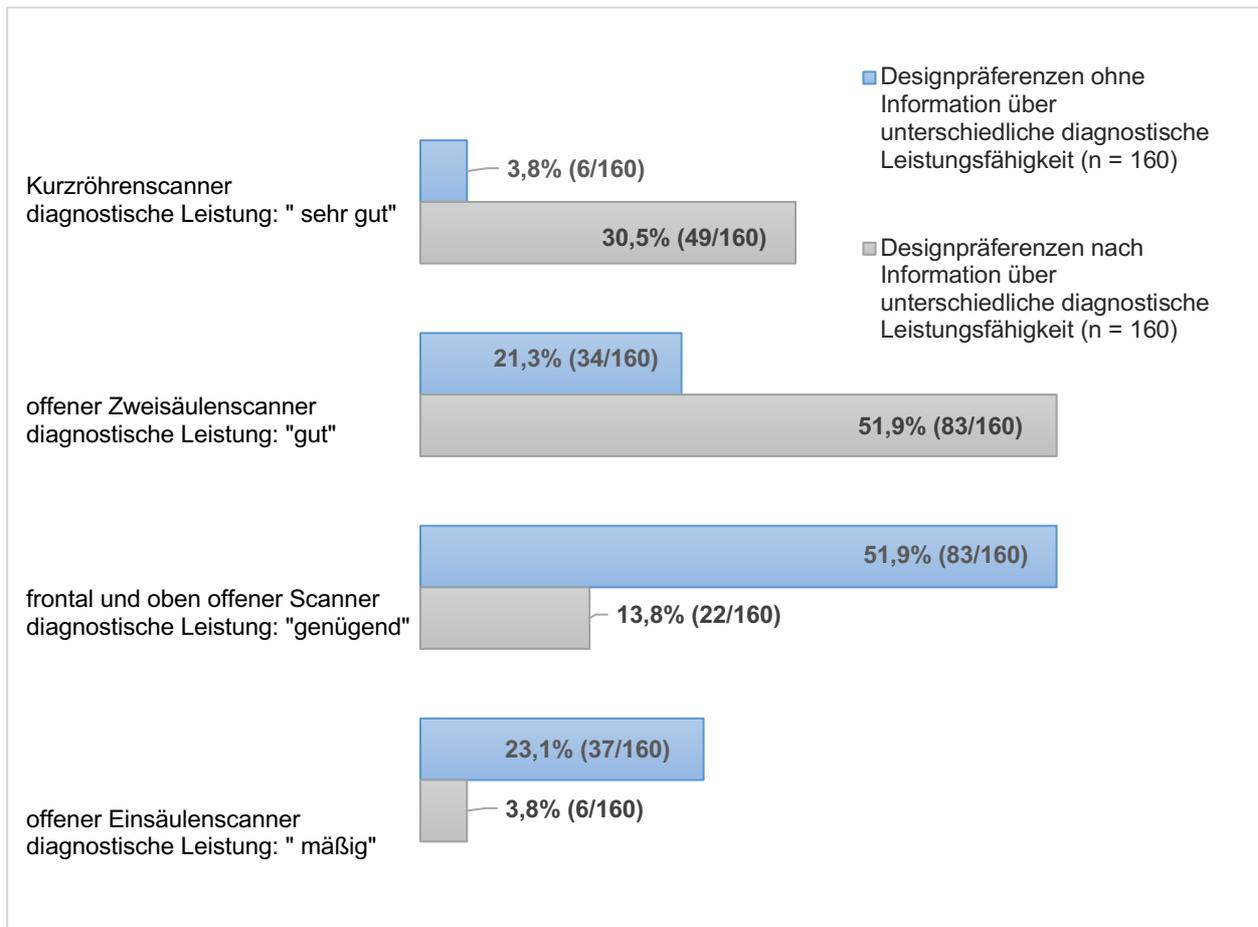


Abbildung 5: Einfluss der Information über eine unterschiedliche diagnostische Leistungsfähigkeit auf visuelle Designpräferenzen

Unter Annahme einer gleichen diagnostischen Leistungsfähigkeit präferierten Patient*Innen mehrheitlich den frontal offenen sowie den offenen Einsäulenscanner. Nach Information über eine bessere diagnostische Leistungsfähigkeit des geschlossenen Kurzröhrenscanners und des offenen Zweisäulenscanners veränderten sich die visuellen Designpräferenzen signifikant zum Vorteil der Scanner mit der besseren diagnostischen Leistungsfähigkeit ($p < 0,001$).

Zahlen in Prozent % (n/n total)

Quellenangabe: verändert aus Iwan et al. (1)

3.3 Visuell präferierte Scannerdesigns für die Entwicklung zukünftiger Scanner

Danach beurteilten Patient*Innen, welches Scannerdesign sie unter Einbezug aller bisher verfügbaren Informationen zur Weiterentwicklung bevorzugen, um in Zukunft claustrophobischen Patient*Innen eine MRT-Untersuchung zu ermöglichen. Unter diesen Umständen wurde mehrheitlich der frontal und oben offene Scanner mit der Möglichkeit zur sitzenden Scanposition (36,9%; 59/160) sowie der offene Zweisäulenscanner (33,1%; 53/160) präferiert. Der geschlossene Kurzröhrenscanner (16,3%; 26/160) sowie der offene Einsäulenscanner (13,8%; 22/160) wurden hingegen weniger häufig

präferiert (Abbildungen 4+6). Die Verteilung der Antworten zeigte in einem Vierstichproben-T-Test für die Gleichheit der Verteilung einen p –Wert von <0.001 und somit ist von einer nicht zufälligen Verteilung der Antworten auszugehen (Abbildung 4).

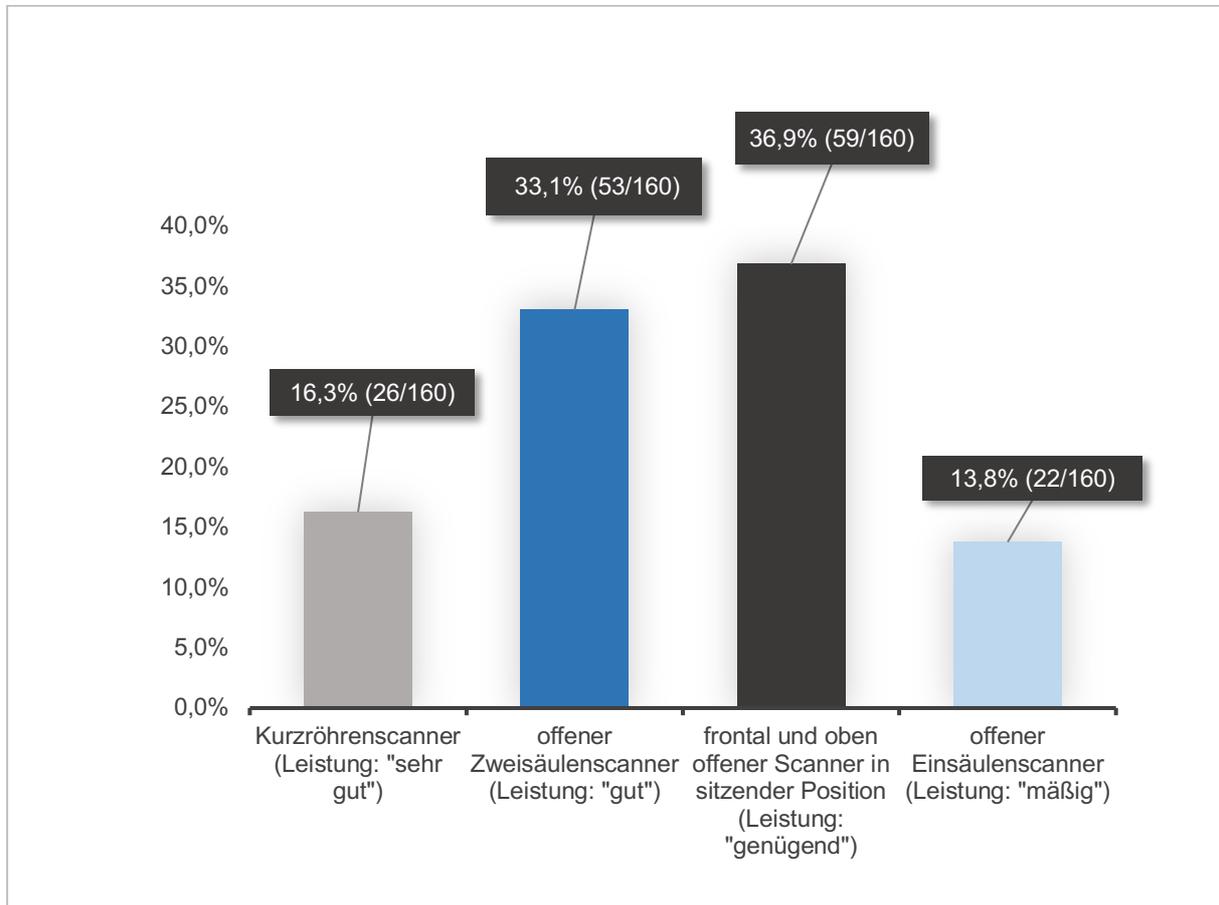


Abbildung 6: Scannerdesignpräferenzen klaustrophobischer Patient*innen für die Weiterentwicklung zukünftiger MRT-Scanner, um klaustrophobischen Patient*Innen in Zukunft eine MRT-Untersuchung ermöglichen zu können

Eine Mehrheit der Studienteilnehmer*Innen präferierte einen frontal und nach oben offenen Scanner mit sitzender Scanposition und genügender diagnostischer Leistung gefolgt von einem offenen Zweisäulenscanner mit guter diagnostischer Leistungsfähigkeit. Ein Kurzzöhrendesign und ein offener Einsäulenscanner wurden weniger häufig präferiert.

Zahlen in Prozent % (n/n total)

Quellenangabe: verändert aus Iwan et al. (1)

3.4 Einfluss akuter Klaustrophobie auf die visuellen Scannerpräferenzen

44 (27,5%) Patient*Innen erlebten im Rahmen der MRT-Untersuchung unmittelbar vor Ausfüllen des Fragebogens ein klaustrophobisches Ereignis. Insgesamt bevorzugten Patient*Innen mit unmittelbarer Klaustrophobie für die Weiterentwicklung zukünftiger MRT-Scanner nach Information über die Leistungsfähigkeit in 86,4% der Fälle den frontal und

oben offenen (47,7%; 21/44) oder den offenen Zweisäulenscanner (38,7%; 17/44) und nur in 13,6% der Fälle den Kurzhöhren- oder offenen Einsäulenscanner (jeweils 6,8%; 3/44). Patient*Innen ohne ein unmittelbares Klaustrophobieereignis bevorzugten insgesamt nur in 63,8% der Fälle den frontal und oben offenen (32,8%; 38/116) oder offenen Zweisäulenscanner (31%; 36/116) und präferierten den Kurzhöhrenscanner oder der offene Einsäulenscanner in dieser Subgruppe in 19,8% (23/116) bzw. 16,4% (19/116). Der Unterschied in den Scannerdesignpräferenzen in Abhängigkeit von dem Vorhandensein eines unmittelbaren Klaustrophobievorfalles war im Pearson's Chi-Square statistisch signifikant ($p = 0.047$) (Tabelle 3, Abbildungen 4+ 7).

Tabelle 3

Einfluss akuter Klaustrophobie auf Scannerdesignpräferenzen

	Bevorzugtes Scannerdesign zur zukünftigen Weiterentwicklung bei Patient*Innen mit einem unmittelbaren Klaustrophobieereignis n = 44	95% CI	Bevorzugtes Scannerdesign zur zukünftigen Weiterentwicklung bei Patient*innen ohne ein unmittelbares Klaustrophobieereignis n = 116	95% CI	Veränderung der Präferenzen in Abhängigkeit des Vorhandensein eines unmittelbaren Klaustrophobieereignisses vor Beantworten der Frage
Kurzhöhrenscanner (Leistung: "sehr gut") n (%)	 3(6,8)	2,3-18,2	23(19,8)	13,6-28	p = 0,047*
offener Zweisäulenscanner (Leistung: "gut") n (%)	 17(38,7)	25,7-53,4	36(31,0)	23,3-39,9	
frontal und oben offener Scanner in sitzender Position (Leistung: "genügend") n (%)	 21(47,7)	33,8-62,1	38(32,8)	24,9-41,7	
offener Einsäulenscanner (Leistung: "mäßig") n (%)	 3(6,8)	2,3-18,2	19(16,4)	10,7-24,2	

Das Vorhandensein von Klaustrophobie unmittelbar vor Beantwortung der Frage nach Designpräferenzen für die zukünftige Weiterentwicklung veränderte die Präferenz signifikant ($p = 0.047$). Patient*Innen mit einem Klaustrophobieereignis bevorzugten offene Scannerdesigns gegenüber geschlossenen Designs signifikant öfter als Patient*innen ohne akut vorangegangenes Klaustrophobieereignis.

*p-Wert berechnet mit Pearson's Chi-Square –Test

Quellenangabe: verändert aus Iwan et al. (1)

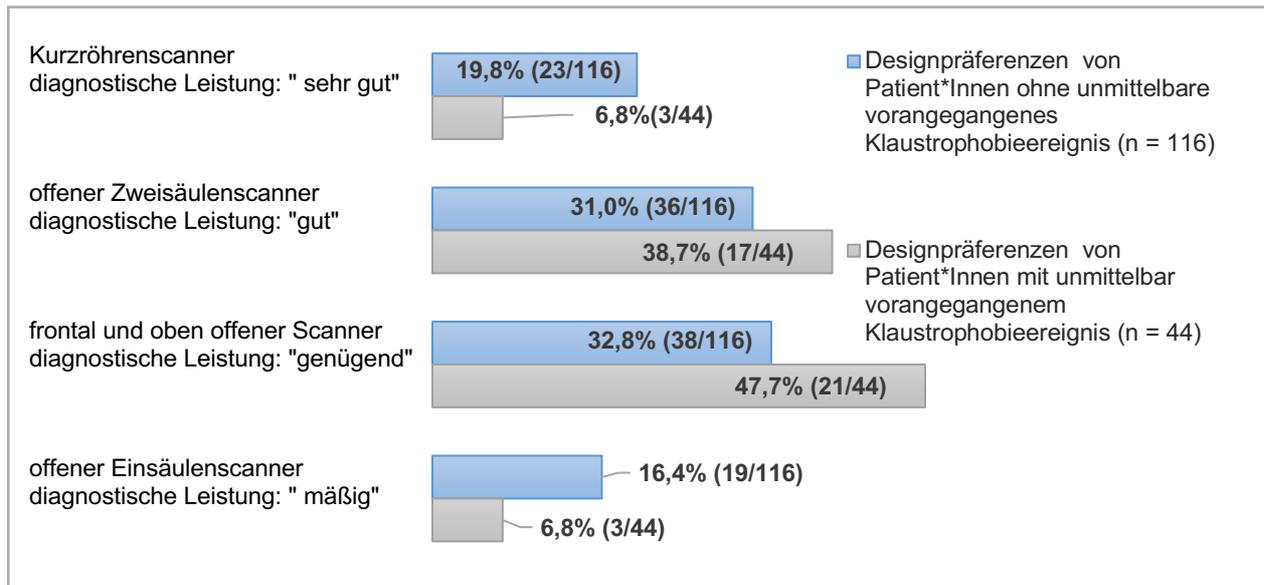


Abbildung 7: Einfluss akuter Klaustrophobie auf Designpräferenzen für die Scannerweiterentwicklung

Ein akutes Ereignis von Klaustrophobie vor Beantwortung der Frage nach dem bevorzugten Scannerdesign für die Weiterentwicklung hatte einen signifikanten Einfluss auf die Designpräferenzen ($p = 0,047$). Patient*Innen mit unmittelbarer Klaustrophobie bevorzugten offene Scannertypen gegenüber einem geschlossenem Kurzröhrenscanner signifikant häufiger, als Patient*Innen ohne akut vorangegangene Klaustrophobie.

Zahlen in Prozent % (n/n total).

Quellenangabe: verändert aus Iwan et al. (1)

3.5 Einfluss vorangegangener Scannererfahrungen auf visuelle Scannerpräferenzen

Die Scannerdesignpräferenzen für die zukünftige Weiterentwicklung von MRT-Scannern wurden auch von dem unmittelbar vorherigen Untersuchungserlebnis in entweder einem geschlossenen Kurzröhren- (MAGNETOM Avanto Siemens Healthineers) oder einem offenen Zweisäulenscanner mit horizontal angeordneten Magneten (Philips Panorama HFO) beeinflusst. Beide Gruppen bevorzugten den frontal und oben offenen Scanner in sitzender Position (31%; 25/79 in der Kurzröhrenscanner-Subgruppe bzw. 42%; 34/81 in der offenen Zweisäulenscanner-Subgruppe). Patient*Innen, die in einem Kurzröhrenscanner untersucht wurden, präferierten diesen Scannertyp signifikant häufiger (27%; 21/79) als Patient*Innen, die in dem offenen Zweisäulenscanner gescannt wurden (6%; 5/81; $p = 0,003$) (Abbildungen 4 + 8). Der Unterschied in den Designpräferenzen zwischen Patient*Innen, die in einem Kurzröhrenscanner und denjenigen, die in einem offenen Zweisäulenscanner untersucht wurden, war im Pearson's Chi Square Test signifikant ($p = 0,003$, Tabelle 4).

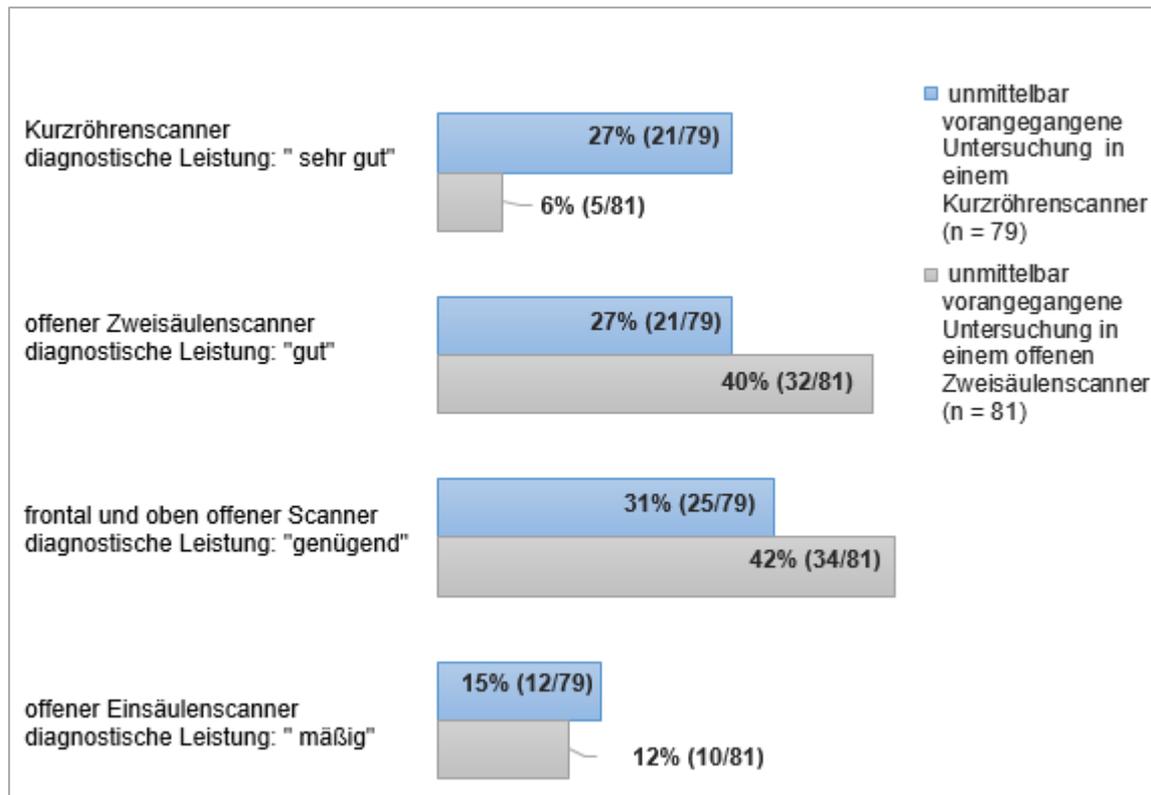


Abbildung 8: Einfluss einer MRT-Untersuchung in einem bestimmten Scannerdesign auf Designpräferenzen

Patient*Innen, die vor Beantwortung der Frage nach dem bevorzugten Scannerdesign für die zukünftige Weiterentwicklung in einem geschlossenen Kurzröhrenscanner untersucht wurden, präferierten diesen Designtyp signifikant häufiger als Patient*Innen, die in einem offenen Zweisäulengerät untersucht wurden. Die Abhängigkeit der Designpräferenzen von der unmittelbaren Scannererfahrung war statistisch signifikant ($p = 0,003$).

Zahlen in Prozent % (n/n total).

Quellenangabe: verändert aus Iwan et al. (1)

Tabelle 4

Einfluss einer MRT-Untersuchung in einem bestimmten Scannerdesign auf Designpräferenzen

	Bevorzugtes Scannerdesign zur zukünftigen Weiterentwicklung bei Patient*Innen mit unmittelbar vorangegangener Untersuchung in einem Kurzzöhrenscanner n = 79	95% CI	Bevorzugtes Scannerdesign zur zukünftigen Weiterentwicklung bei Patient*Innen mit unmittelbar vorangegangener Untersuchung in einem offenen Zweisäulenscanner n = 81	95% CI	Veränderung der Präferenzen in Abhängigkeit von der unmittelbaren Untersuchung in einem bestimmten Scannertyp
Kurzzöhrenscanner (Leistung: "sehr gut") n (%) 	21 (27,0)	18,1-37,2	5 (6,0)	2,7-13,6	p = 0,003*
offener Zweisäulens-sca (Leistung: "gut") n (%) 	21 (27,0)	18,1-37,2	32 (40,0)	29,6-50,4	
frontal und oben offener Scanner in sitzender Position (Leistung: "genügend") n (%) 	25 (31,0)	22,4-42,5	34 (42,0)	31,8-52,8	
offener Einsäulenscan (Leistung: "mäßig") n (%) 	12 (15,0)	8,9-24,7	10 (12,0)	6,8-21,3	

Die Designpräferenzen für die Weiterentwicklung zukünftiger MRT-Scanner wurden von der unmittelbar vorherigen Untersuchungserfahrung in entweder einem Kurzzöhren- oder offenen Zweisäulenscanner beeinflusst. Patient*Innen, die unmittelbar vor Beantwortung der Frage in einem Kurzzöhrenscanner untersucht wurden, bevorzugten diesen signifikant häufiger als Patient*Innen, die in einem offenen Scanner untersucht wurden ($p = 0,003$).

*p-Wert berechnet mit dem Pearson's Chi-Square -Test

Quellenangabe: verändert aus Iwan et al. (1)

3.6 Allgemeine Verbesserungsvorschläge für das MRT

Als Antwort auf eine offene Frage nach Verbesserungsvorschlägen für das MRT-Scannerdesign wünschten sich Patient*Innen vor allem eine Geräuschreduktion (31,9%; 51/160), mehr Raum über dem Kopf (27,5%, 44/160) sowie „generell offenere und weitere“ MRT-Designs (20,6%, 33/160). Die übrigen Verbesserungsvorschläge sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5

Allgemeine Verbesserungsvorschläge klaustrophobischer Patient*Innen für MRT-Scanner-designs

Verbesserungsvorschläge von 160 klaustrophobischer Patienten für das MRT-Design	n = Zahl absoluter Antworten (%)
Leiser	51 (31,9)
mehr Platz über dem Kopf	44 (27,5)
generell offener und weiter	33 (20,6)
Musik	18 (11,3)
Kopf nicht im Gerät/nach oben offen	17 (10,6)
größerer Durchmesser	16 (10)
Kontakt (Zeitansage/Sichtkontakt zu Personen im Raum)	15 (9,4)
schnellere Untersuchung	9 (5,6)
Bilder/Film über dem Kopf zum Anschauen	8 (5)
kleineres Gerät	5 (3,1)
immer mit Sedierung	5 (3,1)
keine seitliche Begrenzung durch Säulen	3 (1,9)
weichere Lagerung	3 (1,9)
heller	3 (1,9)
Augenabdeckung	2 (1,3)
kürzere Röhre	2 (1,3)
Bewegungsmöglichkeit während der Untersuchung	2 (1,3)
kühler	1 (1,6)
Belüftung regulierbar	1 (1,6)
keine Pausen	1 (1,6)
breiterer Tisch	1 (1,6)
Gerät zum Sitzen	1 (1,6)
offenes Gehäuse	1 (1,6)
Wärmezufuhr im Hand-/Fußbereich	1 (1,6)
Möglichkeit selbst rauszukommen	1 (1,6)

Quellenangabe: verändert aus Iwan et al. (1)

4. Diskussion

4.1 Kurze Zusammenfassung der Ergebnisse

Insgesamt präferieren klaustrophobische Patient*Innen in der vorliegenden Studie einen frontal und oben offenen MRT-Scanner mit genügender diagnostischer Leistungsfähigkeit für die zukünftige Weiterentwicklung und wünschen sich offenere und leisere MRT-Scanner. Darüber hinaus verändern sich die Designpräferenzen signifikant zugunsten von Scannern mit besserer diagnostischer Leistungsfähigkeit nach Information über die diagnostische Scannerleistung. Ein unmittelbar vorangegangenes Klaustrophobieereignis erhöht die Präferenz für ein offeneres Scannerdesign wohingegen eine erfolgreiche Untersuchung in einem geschlossenen Scanner die Präferenz für ein geschlossenes Scannerdesign signifikant steigert.

4.2 Interpretation und Einbettung in den bisherigen Forschungsstand

4.2.1 Visuell präferierte Scannerdesigns klaustrophobischer Patient*Innen für die Entwicklung zukünftiger Scanner

Übereinstimmend mit der vorliegenden Arbeit zeigt Michel et al. ebenfalls eine erhöhte Präferenz eines frontal- und oben offenen Scanners mit vertikal angeordneten Magneten gegenüber einem geschlossenen Scanner (62). Dies wurde in der Studie von Michel durch ein subjektives Gefühl von weniger Klaustrophobie und Beengung erklärt. Methodische Unterschiede lagen im Vergleich zur vorliegenden Arbeit darin, dass die Probanden die Designpräferenzen nicht anhand einer visuellen Beurteilung von Scannerdesigns anhand eines Fragebogens bewerteten, sondern anhand eines vergleichenden Scannerlebnisses in beiden Geräten. Zudem wurde bei dem frontal –offenen Scanner eine liegende Untersuchungsposition eingenommen, wohingegen in der vorliegenden Arbeit eine sitzende Position visuell angedeutet wurde. Zudem bestand die Studienpopulation bei Michel et al. aus schwangeren und nicht-schwangeren Frauen, die sich ausschließlich Beckenuntersuchungen zur Geburtsplanung unterzogen. Unsere Studienpopulation umfasste hingegen Männer und Frauen mit erhöhtem Risiko für Klaustrophobie und Untersuchungen der Wirbelsäule oder des Kopfes, welche mit einem erhöhten Risiko für Klaustrophobie einhergehen (37). So zeigt Eshed et al., dass in 1.73% von Kopf-/Hals-

MRT-Untersuchungen bzw. in 1.12% von Wirbelsäulenuntersuchungen im MRT ein vorzeitiger Untersuchungsabbruch beobachtet werden konnte, während dies nur bei 0.27% aller Beckenuntersuchungen der Fall war (37).

Laut Febraro et al. ist die „Angst nicht entkommen zu können“ eine Dimension von Klaustrophobie (23). Daraus lässt sich die Hypothese entwickeln, dass die Präferenz des frontal und oben offenen Scanners in der vorliegenden Studie durch die auf dem Fragebogen abgebildete sitzende Scanposition zurückzuführen sein könnte. Eine sitzende Position könnte im Gegensatz zu einer liegenden Position dementsprechend die Möglichkeit suggerieren, den Scanner schneller verlassen zu können. Die Hypothese unterstützend zeigen Nair et al., dass eine aufrecht sitzende Position im Gegensatz zu einer gekrümmten Körperposition weniger Angst- und subjektive Stressgefühle bei Probanden bedingt (86). Lacey et al. zeigen, dass Kinder, die in einer sitzenden Position geimpft wurden, weniger Angst zeigen als Kinder, die in einer liegenden Position die Impfung erhielten (87).

Passend zur Präferenz offenerer Geräte in der vorliegenden Arbeit konnten offene Scanner in der Vergangenheit die Klaustrophobierate im Vergleich zu konventionellen, geschlossenen Systemen signifikant reduzieren (63, 69). Die Assoziation mit „Restriktion“, welche neben „Ersticken“ eine Komponente von Klaustrophobie darstellt (21), kann durch ein offeneres Design reduziert werden. Diese These unterstützend zeigt sich nach visuellem Anblick eines geschlossenen Scanners beim ersten Betreten des Raumes in der aktuellen Arbeit auch eine signifikant erhöhte Rate von Klaustrophobie im Vergleich zum ersten Anblick des offenen Scanners (Tabelle 1). Gosset et al. konnten zudem erhöhte Cortisollevel bei Patient*Innen in alleiniger Erwartung eines MRT-Scans nachweisen, was als ein messbares morphologisches Korrelat einer Angstreaktion vor Positionierung im MRT-Gerät gewertet werden kann (88).

Eine Erklärung, dass der Einsäulenscanner trotz seines ebenfalls offenen Designs am seltensten präferiert wurde, könnte in der Information über seine verhältnismäßig deutlich eingeschränkte diagnostische Leistungsfähigkeit zu finden sein. Passend berichten Katz et al., dass ein Grund von Angst im MRT die Besorgnis sei, was die MRT-Diagnostik ergäbe (80). Dies unterstreicht die Bedeutung einer guten diagnostischen Leistungsfähigkeit für Patient*Innen.

Die offenen Ein- bzw. Zweisäulenscanner ermöglichen mehr offenen Raum an den Seiten mit einem beinahe 360°- Rundumblick und somit einem größeren horizontalen Durchmesser, was für klaustrophobische Patient*Innen ansprechend wirken kann. Jedoch

bleibt der vertikale Gantry-Durchmesser durch die toroidale Anordnung der zwei Magneten bei dem offenen Zweisäulenscanner mit 45cm weiterhin sehr beengt (68). Durch die Rückenlage blicken die Patient*Innen weiterhin auf eine beengend nahe Begrenzung über dem Kopf mit der Gefahr der Auslösung restriktiver Gefühle. Untersuchungen in Bauchlage hingegen, die den direkten Blick auf die obere Begrenzung des Scanners als Klaustrophobietrigger vermeiden, können die Klaustrophobierate reduzieren (37).

Die Präferenz des sitzenden Scanners passt auch zu den Verbesserungsvorschlägen der Patient*Innen in der vorliegenden Arbeit, die sich am zweithäufigsten „mehr Platz über dem Kopf“ wünschten. So konnte für Kopfuntersuchungen in Rückenlage ein erhöhtes Risiko für Klaustrophobie sowie eine Reduktion der Klaustrophobierate in Bauchlageuntersuchungen werden (28, 37, 43). Für eine horizontal-liegende Position ist passend hierzu eine schlechtere multisensorische Orientierung im Raum, eine schlechtere Körperwahrnehmung sowie eine geringere Fähigkeit zur Körper-Selbst-Wahrnehmung beschrieben worden (89). Eine sitzende Position hingegen könnte für eine bessere Orientierung und somit „Gefühl von Kontrolle“ im Raum sprechen, was wiederum die „Angst vor Kontrollverlust“, die mit Klaustrophobie assoziiert wird (23, 90), reduzieren könnte.

Trotz des Wissens um die vergleichsweise sehr gute diagnostische Leistungsfähigkeit des geschlossenen Kurzhöhrenscanners, wurde dieser nur an vorletzter Stelle präferiert. Dies betont, dass das restriktive Scannerdesign trotz diagnostischer Vorteile einen entscheidenden visuellen Trigger für Patient*Innen mit Klaustrophobie darstellt und diese Tatsache auch in der Entwicklung zukünftiger Scannerentwicklungen berücksichtigt werden sollte. Dies ist insbesondere in Anbetracht der Tatsache der signifikant häufigeren Fälle von Klaustrophobie beim alleinigen Anblick des Kurzhöhrenscanners zu bewerten (Tabelle 1, (70)). Jedoch zeigte sich insgesamt kein signifikanter Unterschied in der Klaustrophobierate gemessen über den gesamten Untersuchungsverlauf zwischen dem Kurzhöhrenscanner und dem offenen Panorama-Scanner (Tabelle 1). Dies suggeriert, dass nicht nur der visuelle Anblick, sondern auch andere Einflussfaktoren während des gesamten Untersuchungsverlaufs wie die interozeptive Erfahrung während des Positionierens (70, 89), die Dauer der Untersuchung (41) oder die Lautstärke eine Rolle (41, 42, 91) spielen.

Der in der vorliegenden Arbeit gezeigten Präferenz offener gegenüber geschlossenen Scannern stehen allerdings Ergebnisse von Ahlander et al. entgegen (71). Ahlander et al. vergleichen zwei geschlossene Scanner jeweils mit einem Gantrydurchmesser von 60cm und von 70cm und berichten über höhere Angstlevel vor und nach MRT-

Untersuchungen in dem offeneren MRT-Gerät (71). Dies ist allerdings höchstwahrscheinlich durch Selektionsbias zu erklären. Bei Ahlander et al. wurden Patient*Innen nicht zu einem bestimmten Scanner randomisiert, sondern konnten den ausdrücklichen Wunsch nach Scan in einem offenen Scanner äußern. Als Grund für den expliziten Wunsch nach Untersuchung in einem offeneren Scanner ist eine erhöhte Neigung zu Klaustrophobie anzunehmen, was die dort gemessenen höheren Angstlevel in einem offeneren Scanner erklären könnte.

4.2.2 Einfluss von Patienteninformation über die diagnostische Scannerleistung auf visuelle Designpräferenzen

Der vorteilhafte Einfluss von Patienteninformation auf das MRT-Erlebnis von Patient*Innen ist in der Literatur beschrieben (42, 59-61, 84). Murphy et al. betonen, dass einfache Methoden zur Bereitstellung von Patienteninformationen im MRT Angstlevel reduzieren und dadurch die Geräteauslastung sowie die Patientencompliance erhöhen können (29). Die initiale Ablehnung des geschlossenen Kurzzöhren- sowie des Panoramascanners könnte in der Bedeutung des ersten Anblicks eines Scanners als Klaustrophobietrigger liegen. Der ersten Anblick ist bereits zuvor als wichtiger Klaustrophobietrigger identifiziert worden (70, 78). Auch in der Studienpopulation der vorliegenden Arbeit zeigt sich, dass eine relevante Anzahl von Klaustrophobie bereits bei Anblick des Scanners und signifikant häufiger bei Anblick des geschlossenen Kurzzöhrenscanners geschah (Tabelle 1, (70)). Dies könnte möglicherweise durch eine visuelle Triggerung der Ängste vor „Restriktion“ und „Ersticken“ als Komponenten von Klaustrophobie durch das geschlossene Design zurückzuführen sein (22). Quirk et al. beschreiben ebenfalls das „beengende Design“ als ein wichtiger angsterzeugender Faktor im MRT-Umfeld (41). Klaustrophobie-assoziierte Kognitionen wie „Angst vor Schäden, die [durch das MRT-Gerät] zugefügt werden“ (85), z.B. Schäden durch das restriktive Design, beeinflussten die Designpräferenzen möglicherweise ebenfalls.

Die Änderung der Designpräferenzen nach Information über diagnostische Vorteile spricht für einen relevanten positiven Einfluss von Patientenedukation auf die kognitive Einstellung klaustrophobischer Patient*Innen. Die im Rahmen dieser Arbeit an die Patient*Innen vermittelte Information über die diagnostische Leistungsfähigkeit könnte dazu beitragen Klaustrophobie-assoziierte Kognitionen wie „Kontrollverlust“ (23, 90), „Angst vor dem Unbekannten“ (80) oder „Schaden durch das MRT-Gerät“ (85) zu reduzieren. Dies gleicht einer kognitiven Umstrukturierung durch Information. Kognitive

Therapieansätze werden als eine mögliche Strategie zur Reduktion klaustrophobischer Gefühle im MRT gesehen (55).

Angst im MRT kann auch durch Sorge um das Ergebnis der Untersuchung getriggert werden (80). Die diagnostische Leistungsfähigkeit hat Einfluss auf die Genauigkeit des Untersuchungsergebnisses. Dies könnten die in unserer Studie beobachtete signifikante Veränderung zugunsten der visuell zuvor weniger präferierten Designtypen nach Information über die diagnostische Leistungsfähigkeit erklären. Passend zu unseren Ergebnissen fanden Quirk et al. eine signifikante Reduktion der Angstlevel, gemessen am STAI, wenn Patient*Innen detaillierte Informationen über die Funktionsweise und Struktur des Scanners kombiniert mit Anleitung zu Relaxationstechniken bekamen. Eine alleinige Information über den Scanner konnte den Effekt jedoch nicht erzielen (61). In der vorliegenden Arbeit war der gemessene Endpunkt allerdings nicht eine Angstscore, sondern die visuellen Designpräferenzen.

4.2.3 Einfluss akuter Klaustrophobie auf die visuellen Scannerpräferenz

Die höhere Akzeptanz von geschlossenen Scannern bei Patient*Innen ohne Klaustrophobieereignis könnte dadurch erklärt werden, dass sich nach positiver situativer und interozeptiver Exposition mit einem klaustrophobischen Stimulus eine Habituationsreaktion mit verringerter klaustrophobischer Angsterwartung sowie reduzierten antizipatorischen Cortisolleveln zeigen können (92, 93).

Dem gegenüber orientierten sich Designpräferenzen von Patient*Innen mit akuter Klaustrophobie in unserer Studie scheinbar vor allem anhand des Kriteriums „Offenheit“ und nur zweitrangig am Kriterium „diagnostische Leistungsfähigkeit“. Das Kriterium „Offenheit“ könnte eine Reduktion der Hauptangstkomponenten von Klaustrophobie (Restriktion und Ersticken) erwirken und es ist anzunehmen, dass klaustrophobische Angstlevel nach akut getriggelter Klaustrophobie hoch sind. In Übereinstimmung mit dieser Hypothese ist in der Literatur beschrieben, dass Patient*Innen, die eine MRT-Untersuchung als unangenehm empfanden nach der MRT-Untersuchung messbar höhere Angstlevel (STAI) aufwiesen (78).

Vorangegangene MRT-Untersuchungen werden auch als einen möglichen Risikofaktor für das Erleben zukünftiger Klaustrophobie genannt (29, 82, 94). Dies steht allerdings im Widerspruch zu andernorts beschriebenen Habituationsreaktionen mit Angstreduktion

nach mehrfachen MRT-Untersuchungen (92). Harris et al. konnten nach situativer Exposition eine Reduktion der Klaustrophobie-Komponente „Angst vor Beengung“ nachweisen, allerdings ohne Reduktion der „Angst vor Ersticken“ (22). Diese unterschiedliche Affektion beider Klaustrophobiekomponenten könnte ein Erklärungsmodell für die zum Teil gegensätzlichen Ergebnisse bezüglich der Habituation von Klaustrophobie darstellen.

Die Ergebnisse unserer Studie weisen zusammenfassend auf erhöhte klaustrophobische Angstlevel direkt nach einem Klaustrophobieereignis hin, was sich in der Studie anhand des Wunsches nach offenen Scannern akut klaustrophobischer Patient*Innen manifestiert.

4.2.4 Einfluss vorangegangener Scannererfahrungen auf visuelle Scannerdesignpräferenzen

Die Präferenz für ein geschlossenes Scannerdesign nach einer erfolgreichen Untersuchung in einem geschlossenen Scanner spricht für eine mögliche Angstreduktion nach wiederholten MRT-Untersuchungen durch Habituation (92, 93). Habituation kann als eine zunehmend abgeschwächte Stressreaktion nach wiederholter Applikation eines stressauslösenden Stimulus gesehen werden (95). Als Stimulus wäre in diesem Fall die Untersuchung in einem bestimmten MRT-Design zu sehen. In der Literatur ist beschrieben, dass wiederholte MRT-Untersuchungen das Risiko für die Notwendigkeit einer Sedierung bei einer erneuten MRT-Untersuchung aufgrund von Angstsymptomatik erhöhen (29). Jedoch bleibt in dieser Studie die Information über die Qualität, der vorherigen MRT-Erfahrungen, also ob die Erfahrung positiv oder negativ war, unbeschrieben. MacKenzie et al. beschreiben, dass anamnestisch unangenehme MRT-Erfahrungen die Angstlevel bei einer nachfolgenden MRT-Untersuchung erhöhen (78).

Eine weitere Erklärung für die Präferenz des Scannerdesigns, in dem eine erfolgreiche Untersuchung absolviert wurde, könnte sein, dass, wie von Carlsson et al. beschrieben, Patient*Innen nach einem erfolgreichen Scan ein Gefühl von „Erfolg“ mit möglicherweise positiverer Einstellung zu eben diesem Scannerdesign ausbilden (79).

In Zusammenschau, scheint somit eine positive MRT-Erfahrung potenziell eher eine Habituationsreaktion auszulösen, während eine negative MRT-Erfahrung das Risiko für weitere klaustrophobische Erfahrungen möglicherweise erhöht. Insgesamt ist die Datenlage hierzu allerdings nicht eindeutig.

Die verhältnismäßig geringere Präferenz des geschlossenen Kurzzöhrren-Designs von Patient*Innen, die nicht in einem Kurzzöhrren- sondern Panoramascanner untersucht wurden, könnte auch in deren alleinigen visuellen Scannererfahrung anhand des Fragebogens liegen. Anhand des Fragebogens werden keine interozeptiven Erfahrungen (z.B. Liegekomfort, Temperatur, Geräuschlevel) vermittelt. Im Gegensatz hierzu hatten Patient*Innen, die in einem Kurzzöhrrenscanner gescannt wurden, zusätzlich zur visuellen auch interozeptive Informationen erhalten, welche eine wichtige Rolle zu spielen scheinen. So zeigte sich trotz einer visuellen Präferenz des offenen Panoramascanners in unserer Studienpopulation keine signifikant reduzierte Klaustrophobierate in einem Panoramascanner. Dies ist auf eine erhöhte Klaustrophobierate während der Positionierung im Panoramascanner (im Gegensatz zum ersten Anblick beim Kurzzöhrrenscanner) zurückzuführen (Tabelle 1). Dies betont die Bedeutung der interozeptiven zusätzlich zur visuellen Wahrnehmung. Die interozeptive Wahrnehmung kann zum Beispiel durch Selbsthypnose-therapie, mit verringerter Klaustrophobierate, modifiziert werden (56). Unsere Ergebnisse betonen die Bedeutung von Bewältigungsstrategien für Klaustrophobie, die die interozeptive Wahrnehmung modifizieren. Hierbei könnte auch Virtual-Reality-Training zukünftig zum Einsatz kommen (57).

4.2.5 Allgemeine Verbesserungsvorschläge für das MRT

Die in der vorliegenden Arbeit erwünschte Lautstärkenreduktion kann in Anbetracht der hohen Lärmbelastung in konventionellen MRT-Scannern verstanden werden. Die Lautstärkenpegel in einem konventionellen MRT-Gerät entstehen durch die schnell wechselnden Ströme in den Gradientenspulen und können Schallpegel bis 115 Dezibel (dB) erreichen, was nur wenig unterhalb der Lautstärke eines Flugzeugabhebens mit 120 dB liegt (96). Der hohe Geräuschpegel trägt zu Angsterleben im MRT bei (41, 91) und eine Geräuschreduktion wird empfohlen, um Klaustrophobie im MRT zu reduzieren (42). Der in der vorliegenden Arbeit verwendete Kurzzöhrrenscanner hat bereits die technischen Voraussetzungen zu einer Geräuschreduktion auf weniger als 99 dB. Eine Sequenz-basierte Lautstärkenreduktionen auf mehr als 80% bei erhaltener Bildqualität bei MRT-Untersuchungen ist überdies technisch beschrieben und möglich (97, 98). Eine weitere Lautstärkenreduktion bei der Entwicklung neuer Scanner sowie die Verwendung von leiseren Scanprotokollen in Kombination mit Ohrstöpseln und Kopfhörern bei bereits vorhandenen älteren Scanner sollte daher angestrebt werden (96, 99).

Der Wunsch klaustrophobischer Patient*Innen nach mehr Platz im MRT kann gut durch die Komponententheorie von Klaustrophobie und der assoziierten „Angst vor Restriktion und Ersticken“ (21) sowie mit einem vergrößertem Nah- oder peri-personalem Raum bei Klaustrophobie erklärt werden (100, 101). Der Nah- oder peri-personale Raum ist ein individuell empfundener Bereich um den Körper eines Menschen, der als die persönliche Zone wahrgenommen wird. Im Gegensatz zum extrapersonalen Raum, kann er durch den eigenen Körper, z.B. durch Ausstrecken des Armes, direkt beeinflusst werden. Die Wahrnehmung des peri-personalen Raums wird durch bestimmte kortikale Hirnregionen sowie emotionale und sozio-kulturelle Faktoren beeinflusst (102). Lourenco et al. zeigen, dass die Größe der Wahrnehmung des individuellen Nahraumes mit klaustrophobischer Angst korreliert (100). Individuen mit einem subjektiv größerem Nahraum zeigen mehr klaustrophobische Gefühle, als solche mit einem geringeren Nahraum (100). Darüber hinaus konnten Hunley et al. nachweisen, dass klaustrophobische Patient*Innen weniger Flexibilität bezüglich des peri-personalen Raumes zeigen (101). Diese Inflexibilität bezüglich des Nahraums bei klaustrophobischen Patient*Innen macht die Bedeutung offener Scannerdesigns bei MRT-Untersuchungen deutlich.

Im Speziellen „mehr Platz über dem Kopf“ scheint ein Anliegen klaustrophobischer Patient*Innen zu sein. So bevorzugte eine Mehrzahl der Patient*Innen in der aktuellen Arbeit visuell sowohl den frontal und oben offenen Scanner mit viel Platz über dem Kopf als auch wünschten sie sich explizit „mehr Platz über dem Kopf“. Da im Vergleich zu Extremitäten-Scans Kopf-Untersuchungen einen relevanten Klaustrophobietrigger darstellen (28, 29, 37) lässt sich die Präferenz von mehr Platz über dem Kopf klaustrophobischer Patient*Innen erklären.

4.3 Stärken und Schwächen der Studie

Die vorliegende Studie hat Limitationen, die in der Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen.

Die Daten stammen aus den Jahren 2008/2009 und in der Zwischenzeit sind neue Scannerdesigns, zum Beispiel geschlossene Scanner mit noch kürzeren Röhren und größerem Durchmesser von 70 statt 60 cm, auf dem Markt. Jedoch dürfte der Unterschied von 10 cm einer 60 bzw. 70 cm durchmessenden geschlossenen Röhre in der rein visuellen Beurteilung eines Scanners, wie in unserem Fragebogen oder beim Betreten eines MRT-Raumes, für Patient*Innen ohne direkten Vergleich mit einem anderen Gerät nur schwer

erkennbar sein. Daher wäre der Fragebogen der vorliegenden Studie unter Berücksichtigung dieser neuen Scanner wahrscheinlich nicht relevant anders ausgefallen. Zudem sind diese neuen Scanner zumeist sehr teuer und in viele Kliniken und Praxen, vor allem in bestimmten Regionen mit eingeschränkter finanzieller Kapazität, selten (103). Daher sind eine Vielzahl älterer Scannerdesigns von vor mehr als 10 Jahren in klinischem Betrieb. Für diese noch betriebenen älteren Scanner

kann unsere Arbeit wertvolle Informationen zur Klaustrophobiereduktion liefern. Die aktuelle Arbeit liefert zudem zeitunkritische Erkenntnisse bezüglich des Einflusses von Information über die diagnostische Leistungsfähigkeit oder von anamnestischen Scanner-vorerfahrungen auf die Designpräferenzen von klaustrophobischen Patient*Innen. Dies könnte besonders für die Überweisung individueller klaustrophobischer Patient*Innen zu bestehenden, älteren Scannern genutzt werden. Viele neue patientenzentrierte Scanner der letzten Jahre sind zudem oft Weiterentwicklungen geschlossener Systeme mit kürzeren und weiteren Röhren. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen allerdings recht deutlich, dass klaustrophobische Patient*Innen vor allem frontal und oben offene vor geschlossenen Scannern präferieren. Möglicherweise können diese Ergebnisse einen Anreiz für die Industrie darstellen, offene Scannertypen speziell für klaustrophobische Patient*Innen weiterzuentwickeln.

Eine weitere Limitation unserer Studie ist, dass die Studie monozentrisch durchgeführt wurde, was die Generalisierbarkeit einschränkt. Jedoch liegt die Stärke der Studie in dem randomisierten Design sowie der Wahl einer klaustrophobischen Studienpopulation, was die Relevanz der Ergebnisse deutlich erhöht.

Des Weiteren wurden in den Fragebögen ausschließlich visuelle Informationen einer 2 D Skizze von Scannern verwendet. Durch diese Herangehensweise können interozeptive Einflüsse wie zum Beispiel das Gefühl bei der Positionierung im Scanner, die Dauer der Untersuchung oder die Geräuschpegel als Klaustrophobietrigger nicht evaluiert werden. Es bleibt in zukünftigen Studien also abzuwarten, ob die rein visuellen Designpräferenzen sich auch in einer messbaren Reduktion von Klaustrophobie niederschlagen. Da jedoch der erste Anblick einen entscheidenden Klaustrophobietrigger darstellt (70, 78), sind die Ergebnisse dennoch relevant, insbesondere, da die Daten von Patient*Innen mit einem erhöhten Risiko für Klaustrophobie stammen.

Limitierend ist auch, dass im Rahmen des Studiendesigns eine Untersuchung entweder in einem offenen Zweisäulenscanner oder Kurzzöhrenscanner stattfand. Dadurch erhielt

ten die Teilnehmer*Innen zusätzlich zu den visuellen und edukativen Informationen, interozeptive Eindrücke über den jeweiligen Scannertyp, in dem sie gescannt wurden. Dies stellt einen Informationsvorteil gegenüber den anderen abgebildeten Scannertypen auf dem Fragebogen dar. Um für diese Bias zu adjustieren, wurde in der vorliegenden Arbeit eine Analyse der Designpräferenzen in Abhängigkeit von dem zuvor real erlebten Scannererlebnis durchgeführt.

Eine weitere Einschränkung der Studie ist, dass eine Mehrzahl der Studienteilnehmer*Innen bereits vorherige MRT-Erfahrungen hatten und diese in der Analyse vorheriger Scannererfahrungen nicht berücksichtigt wurden.

Bezüglich der den Patienten*Innen mitgelieferten Informationen über die diagnostische Leistungsfähigkeit ist limitierend, dass der Einfluss der Leistungsfähigkeit eines Scanners auf die diagnostischen Ergebnisse auch stark von der Untersuchungsindikation abhängen. Für bestimmte Fragestellungen kann auch eine eingeschränkte Bildqualität in einem von Design-Aspekten her bevorzugten Scanner zur Klärung einer medizinischen Fragestellung ausreichen. Aus medizin-ethischen Gründen sollten Patient*Innen daher nur mit Informationen über eine bessere diagnostische Leistungsfähigkeit zu einer Untersuchung in einem bestimmten Scannerdesign motiviert werden, wenn eine bessere diagnostische Leistungsfähigkeit auch tatsächlich für die individuelle MRT-Diagnostik von Relevanz ist. Von den initial randomisierten Teilnehmer*Innen füllten insgesamt 14 den Fragebogen nicht aus, wovon 12 Patient*Innen wegen Klaustrophobie entweder gar nicht erst zur Untersuchung erschienen sind oder den Fragebogen aufgrund von akuter Klaustrophobie nach der Untersuchung nicht ausfüllen konnten. Dies könnte zu einem Bias der Ergebnisse geführt haben, da Patient*Innen mit akut schwer ausgeprägter Klaustrophobie keine Beurteilung der Designpräferenzen abgaben und dies zu einem Informationsverlust beitragen könnte.

Außerdem wurden in der vorliegenden Arbeit keine leiseren Untersuchungssequenzen („Silent Sequences“) zur Geräuschreduktion verwendet, was den Wunsch nach Geräuschreduktion der Patient*Innen in der vorliegenden Arbeit erklären kann.

Trotz der Limitationen der Arbeit liefern die Ergebnisse dennoch wichtige Informationen zu Designpräferenzen von Patient*Innen mit einem hohen Risiko für Klaustrophobie, vor allem da die Studie in einem randomisiert-kontrolliertem Studienprotokoll durchgeführt wurde, und sollten daher in der Entwicklung neuer Scanner und der klinischen Routine Beachtung finden.

4.4 Implikationen für Praxis und zukünftige Forschung

Zusammenfassend stellen Scannerdesignaspekte einen relevanten Einflussfaktor für Klaustrophobie während MRT-Untersuchungen dar (40). Klaustrophobie ist eine relevante und häufige Komplikation von MRT-Untersuchungen mit Nachteilen für Patient*Innen und das Gesundheitssystem und wirksame Strategien zur Klaustrophobiereduktion in der klinischen Routine werden dringend benötigt (34). Guckel et al. betonen, dass Patientenkomfort das Design und die Entwicklung optimierter Scannertypen lenken sollte (104). Speziell das Wissen um die Vorlieben von Designaspekten betroffener klaustrophobischer Patient*Innen erscheint unter diesem Aspekt essentiell für die Entwicklung neuer MRT-Scannerdesigns. Zudem können sich daraus auch Maßgaben für die individuelle Überweisung klaustrophobischer Patient*Innen zu einem bestimmten Scannerdesign bereits bestehender Geräte ableiten, was die Chance auf eine erfolgreiche MRT-Untersuchung erhöhen könnte.

4.4.1 Technische Optimierung offener MRT-Scanner

Klaustrophobische Patient*Innen bevorzugen visuell vor allem offenere und leisere Scanner, im Speziellen werden Scanner mit frontal und oben offener Bauweise mit der Möglichkeit einer Untersuchung in sitzender Scanposition präferiert (1). Diese Ergebnisse sollten von den MRT-Entwicklern wahrgenommen und gewürdigt werden. Dies ist insbesondere in Anbetracht der Tatsache zu sehen, dass rund 1/3 klaustrophobischer Patient*Innen ein klaustrophobisches Ereignis bereits beim Anblick des Scanners beim Eintritt in den Untersuchungsraum erleben (70), was vergleichbar mit dem in der Studie verwendeten Fragebogen einen rein visuellen Trigger darstellt. Ein frontal und oben offenes Scannerdesign bringt zum aktuellen Zeitpunkt allerdings technische Limitationen mit, zum Beispiel die verhältnismäßig geringe Feldstärke sich derzeit auf dem Markt befindlicher Modelle von rund 0.6T. Zum Ausgleich könnten neue Deep-Learning Strategien zur Verbesserung der Bildqualität im Sinne einer Verbesserung der „Software“ im Gegensatz zu einer Modifikation der „Hardware“, i.e. Magnetenkonfiguration, zum Einsatz kommen (105). Überdies sind Verfahren zur Reduktion von Noise in MRT-Bildern von Scannern mit geringer Feldstärke und somit geringer SNR durch Bildrekonstruktionsverfahren beschrieben (106). Zudem können neuartige Magnetmaterialien möglicherweise die Kosten für neue MRT-Geräte senken und neu-konfigurierte Scanner zu günstigeren Preisen ubiquitärer verfügbar machen (65). Ein potentieller Nachteil von aktuellen Scannern mit offenerem Design und geringerer Feldstärke ist die längere Untersuchungszeit (66), die

für die Patient*Innen den Untersuchungskomfort erheblich schmälern kann (104). Bei der Weiterentwicklung dieser neuen Scannerdesigns sollte demnach auf eine Verkürzung der MRT-Untersuchungszeit abgezielt werden (107). Hierzu können zum Beispiel 3D- Fast-Spin- Echo- Sequences zum Einsatz kommen, die MRT-Protokolle substantiell verkürzen können (108).

*4.4.2 Patient*Innen-Edukation vor dem MRT*

Information über eine bessere diagnostische Leistungsfähigkeit eines visuell für Patient*Innen unattraktiven Scanners kann die Designpräferenzen zum Vorteil eines Scanners mit besserer Leistungsfähigkeit verändern (1). Positive Implikationen von Patienteninformation auf Angstlevel sowie Patientenzufriedenheit im MRT sind an anderer Stelle ebenfalls diskutiert worden (78, 109, 110). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit geben Anhalt dafür, dass spezielle Information über die Leistungsfähigkeit eines Scanners die theoretische Scannerakzeptanz klaustrophobischer Patient*Innen, beurteilt anhand rein visueller Scannerkriterien, erhöht. Für die klinische Routine könnten obige Ergebnisse implizieren, dass, wenn eine Untersuchung in einem visuell unattraktivem Scannerdesign aus logistischen oder diagnostischen Gründen unumgebar ist, Informationen über eine bessere diagnostische Leistungsfähigkeit dieses Scanners die Akzeptanz des Gerätes und damit die Chance auf eine erfolgreiche Untersuchung erhöhen könnten. Gegenstand künftiger Studien sollte sein, ob Patienteninformation auch die tatsächliche Klaustrophobierate reduzieren kann. Bei der Planung dieser Studien ist zu beachten, dass Information kombiniert mit Entspannungstechniken eine größere Wirkung bezüglich der Angstreduktion zeigen können (60, 61).

4.4.3 Individuelle Zuweisung zu bestimmten Scannern anhand anamnestischer Vorerfahrungen

Zudem scheint nach den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit (1) eine vorherige positive Scannererfahrung in einem bestimmten Design die Akzeptanz dieses Scannertyps zu erhöhen. MacKenzie et al. betonen umgekehrt, dass Patient*Innen mit einer subjektiv negativen Scannererfahrung erhöhte Angstlevel zeigen (78). Daher sollte für die MRT-Überweisung besonders von klaustrophobischen Patient*Innen zu einem bestimmten Scannerdesigns darauf geachtet werden, dass frühere positive sowie negative Scannererfahrungen in einem bestimmten Scannertypen routinemäßig anamnestisch erfragt und bei der Wahl des Scanners miteinbezogen werden.

Weiterhin zeigt sich in der vorliegenden Arbeit, dass ein unmittelbares Klaustrophobieereignis vor Ausfüllen des Zufriedenheitsfragebogen die Präferenz klaustrophobischer Patient*Innen für offenere Scannerdesigns signifikant erhöht (1). Für die klinische Routine kann dies bedeuten, dass bei anamnestisch stattgehabtem Klaustrophobieereignis die Wahl eines offeneren Gerätes zur Erhöhung der Chancen auf eine erfolgreiche MRT-Untersuchung in Erwägung gezogen werden sollte. In der Literatur wird jedoch sowohl beschrieben ist, dass vorherige klaustrophobische Ereignisse das Risiko für Klaustrophobie in Folgeuntersuchungen erhöhen können (29, 78) als auch, dass vermehrte MRT-Untersuchungen die Kortisollevel als Marker für Distress im Vergleich zur ersten MRT-Untersuchung senken können (92). Daher sind weitere Studien zum Einfluss einer vorherigen Erfahrung in einem bestimmten Scannerdesign auf nachfolgende Klaustrophobieereignisse nötig, um eine abschließende Aussage machen zu können. Zudem sollten Designpräferenzen von Scannern in zukünftigen Studien auch unter Einbezug anderer als rein visueller Aspekte, wie zum Beispiel dem interozeptiven Gefühl bei der Positionierung oder Geräuschverhältnissen, beurteilt werden. Hierfür bieten sich auch Studien unter Einbindung von Virtual-Reality-Programme zur Simulation einer MRT-Erfahrung an (57, 58).

4.4.4 Konsequente Geräuschreduktion

Bezüglich des in der vorliegenden Arbeit von den Patienten*Innen geäußerten Wunsches nach einer Geräuschreduktion (1) ist für die klinische Routine ableitbar, dass eine Reduktion von Geräuschleveln im MRT bezüglich des Patientenkomforts weiterhin Priorität haben sollte. Guckel et al. zeigen, dass die Unannehmlichkeiten durch Geräusche im MRT durch medizinisches Personal tendenziell unterschätzt werden (104). Für die klinische Routine bedeutet dies, dass gerade auch für die Erhöhung der Patientenzufriedenheit klaustrophobischer Patient*Innen die Geräuschreduktion beachtet werden muss. Dies ist gerade deshalb wichtig, da eine Tendenz zu höherer Feldstärke bei neuen MRT-Geräten auch mit einer Steigerung der Schalldruckpegel und somit Lärmbelastung assoziiert ist (111). Hierzu können zum Beispiel Sequenz-basierte Geräuschreduktionstechniken (97, 98) sowie eine Kombination aus Ohrstöpseln, Ohrenschützer und Geräuschabfangende Helme (112) eingesetzt werden.

4.4.5 Übersicht Implikationen der vorliegenden Studie

Zusammenfassend können aus der vorliegenden Arbeit demnach folgende Implikationen für die klinische Routine und zukünftige Forschung abgeleitet werden:

- 1) Offener Bauweisen von MRT-Scannern, im Speziellen eine nach frontal und oben offene Architektur, haben das Potenzial Klaustrophobie im MRT zu reduzieren. Damit einhergehende technische Einschränkungen in der Bildqualität und der Untersuchungsdauer könnten durch technische Neuerungen (z.B. Deep-Learning-Techniken (105), Bildrekonstruktionsverfahren zur Noise-Reduktion(106), 3D Fast-Spin- Echo-Sequenzen (108)) kompensiert werden.
- 2) Information über eine bessere diagnostische Leistungsfähigkeit eines bestimmten Scannerdesigns kann die Patientenakzeptanz erhöhen und könnte gezielt eingesetzt werden, um die Chance auf einen erfolgreichen Scann klaustrophobischer Patient*Innen in einem visuell unattraktiveren Design zu erhöhen.
- 3) Vor Überweisung an ein bestimmtes Scannerdesign kann eine Anamnese bezüglich vorheriger MRT-Erfahrungen, mit Fokus auf die subjektive Scannerfahrung in einem bestimmten Scannerdesign, hilfreich sein. Liegt ein anamnestisches Klaustrophobieereignis vor, kann in Güterabwägung versucht werden, eine nachfolgende Untersuchung in einem offenen Gerät zu ermöglichen. Wurde ein erfolgreicher Scan in einem geschlossenen System absolviert, ist die Akzeptanz für diese Geräte auch bei bestehender Klaustrophobie möglicherweise erhöht.
- 4) Geräuschreduktion ist ein wichtiges Anliegen klaustrophobischer Patient*Innen. Sequenz-basierte Geräuschreduktionstechniken (97) sowie Ohrstöpsel und Gehörschutz(112) können wenn möglich immer zum Einsatz kommen.
- 5) MRT-Präferenzen insbesondere klaustrophobischer Patienten*Innen könnten unter Einbezug visueller sowie interozeptiver Erlebnisdimensionen zukünftig noch genauer definiert werden. Hierzu bieten sich auch Virtual-Reality-Tools zur Simulation von MRT-Untersuchungen an (57). Darüber hinaus bleibt zu prüfen, ob sich visuelle Designpräferenzen auch in einer tatsächlichen Reduktion der Klaustrophobierate niederschlagen können. Information über die diagnostische Leistungsfähigkeit in Kombination mit Entspannungsverfahren ist ein guter Ansatzpunkt für zukünftige Forschung zur Klaustrophobiereduktion (1, 61).

5. Schlussfolgerung

Klaustrophobie im MRT ist eine häufige und relevante Komplikation von MRT-Untersuchungen und wirksame Strategien zur Reduktion von Klaustrophobie können die Patientenversorgung nachhaltig verbessern.

Die vorliegende Studie liefert erstmals Daten zu Scannerdesignpräferenzen von klaustrophobischen Patient*Innen, welche als Ausgangspunkt für die Entwicklung wirksamer Präventionsstrategien dienen können. Sie schaffen somit eine Brücke zwischen klinischem Alltag und der technischen Entwicklung neuer Scanner. Die Ergebnisse sind eindeutig und nicht überraschend: klaustrophobische Patient*Innen präferieren nach frontal und oben offene sowie leisere Scanner. Die aktuelle Entwicklung neuer Scanner spiegelt das jedoch nicht zuverlässig wieder, der Fokus liegt häufig auf der Weiterentwicklung geschlossener Systeme mit höherer Bildqualität. Geschlossene Systeme haben zwar oft diagnostische Vorteile doch birgt diese Entwicklung auch das Risiko klaustrophobischen Patient*Innen in der Patientenversorgung nicht gerecht zu werden.

Die vorliegende patientenzentrierte Studie kann helfen die klinische Versorgung dieser besonderen Patientengruppe zu verbessern. Sie gibt Hinweise darauf, dass ein Kompromiss zwischen diagnostischer Leistungsfähigkeit und einem patientenfreundlichen Design gerade für die Untersuchung klaustrophobischer Patient*Innen wünschenswert ist. Hierzu sollten speziell auch alternativen technischen Möglichkeiten zum Ausgleich einer dem offenen Design geschuldeten verminderten Bildqualität offener Geräte genutzt werden.

Zudem kann die individuelle Überweisung klaustrophobischer Patient*Innen an ein MRT-Gerät durch anamnestische Vorerfahrungen mit dem Scannertypen erfolgen und durch Information über die diagnostische Leistungsfähigkeit ergänzt werden. Beides kann nach den Ergebnissen dieser Studie die Scannerakzeptanz erhöhen. Die Integration dieser Patient*Innen-Präferenzen in den klinischen Alltag sowie in die technische Entwicklung hat das realistische Potential eine weitere Reduktion von Klaustrophobie im MRT in der Zukunft zu ermöglichen.

Das Patientenerleben hat einen zentralen Platz in einer qualitativ hochwertigen Patientenversorgung: so statuieren zum Beispiel Guckel et al., dass ein patientenzentriertes Management das beste Instrument sei, um die Patienten-Compliance zu erhöhen

(104) und Baldwin et al. betonen, dass die Evaluation des subjektiven Patientenerlebens wichtig für die Verbesserung der Patientenversorgung ist (113). Demnach haben wir in dieser Studie erstmals claustrophobischen Patient*Innen eine Stimme bezüglich Designpräferenzen für MRT-Scanner gegeben, welcher sowohl im klinischen Alltag als auch bei der Entwicklung neuer Scanner Gehör geschenkt werden sollte.

Referenzen

1. Iwan E, Yang J, Enders J, Napp AE, Rief M, Dewey M. Patient preferences for development in MRI scanner design: a survey of claustrophobic patients in a randomized study. *Eur Radiol.* 2021;31(3):1325-35.
2. Enders J, Zimmermann E, Rief M, Martus P, Klingebiel R, Asbach P, et al. Reduction of claustrophobia during magnetic resonance imaging: methods and design of the "CLAUSTRO" randomized controlled trial. *BMC medical imaging.* 2011;11:4.
3. Overweg J. MRI main field magnets. Philips Research, Hamburg, Germany. 2006.
4. Association AP. Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5. 5th edn. , Washington. American Psychiatric Publishing. 2013.
5. OECD (2021) AoJ. Magnetic resonance imaging (MRI) exams (indicator). 2021.
6. Levine D. Obstetric MRI. *Journal of magnetic resonance imaging : JMRI.* 2006;24(1):1-15.
7. Saadatmand S, Geuzinge HA, Rutgers EJT, Mann RM, de Roy van Zuidewijn DBW, Zonderland HM, et al. MRI versus mammography for breast cancer screening in women with familial risk (FaMRIsc): a multicentre, randomised, controlled trial. *The Lancet Oncology.* 2019;20(8):1136-47.
8. Fuchs VR, Sox HC, Jr. Physicians' views of the relative importance of thirty medical innovations. *Health affairs (Project Hope).* 2001;20(5):30-42.
9. Andersson-Segesten K, Erichsen M, Westerlund A, Ojerskog I. Patients' fears, worries, and concerns when visiting an out-patient clinic. *Scandinavian journal of primary health care.* 1989;7(4):197-201.
10. Tatman LM, Obremskey WT. Patient Reported Outcomes: The Foundation of Value. *Journal of orthopaedic trauma.* 2019;33 Suppl 7:S53-s5.
11. Zemła AJ, Nowicka-Sauer K, Jarmoszewicz K, Wera K, Batkiewicz S, Pietrzykowska M. Measures of preoperative anxiety. *Anaesthesiology intensive therapy.* 2019;51(1):64-9.
12. Arlington V. Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders. 5th ed. American Psychiatric Association. 2013.
13. Crocq MA. A history of anxiety: from Hippocrates to DSM. *Dialogues in clinical neuroscience.* 2015;17(3):319-25.

14. Yüksel A, Bahadır-Yılmaz E. The effect of sociodemographic factors on anxiety, depression, and perceived social support in patients with internal medicine and surgical problems. *Perspectives in psychiatric care*. 2020;56(4):837-43.
15. Peltzer K, Pengpid S. Anxiety and depressive features in chronic disease patients in Cambodia, Myanmar and Vietnam. *The South African journal of psychiatry : SAJP : the journal of the Society of Psychiatrists of South Africa*. 2016;22(1):940.
16. McLaughlin TP, Khandker RK, Kruzikas DT, Tummala R. Overlap of anxiety and depression in a managed care population: Prevalence and association with resource utilization. *The Journal of clinical psychiatry*. 2006;67(8):1187-93.
17. Mausbach BT, Decastro G, Schwab RB, Tiamson-Kassab M, Irwin SA. Healthcare use and costs in adult cancer patients with anxiety and depression. *Depression and anxiety*. 2020;37(9):908-15.
18. Pereira L, Figueiredo-Braga M, Carvalho IP. Preoperative anxiety in ambulatory surgery: The impact of an empathic patient-centered approach on psychological and clinical outcomes. *Patient education and counseling*. 2016;99(5):733-8.
19. Vadakkan C, Siddiqui W. Claustrophobia. *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing LLC.; 2019.
20. Eaton WW, Bienvenu OJ, Miloyan B. Specific phobias. *The lancet Psychiatry*. 2018;5(8):678-86.
21. Rachman pdS, Taylor pdS. Analyses of claustrophobia. *Journal of anxiety disorders*. 1993;7(4):281-91.
22. Harris LM, Robinson J, Menzies RG. Evidence for fear of restriction and fear of suffocation as components of claustrophobia. *Behaviour research and therapy*. 1999;37(2):155-9.
23. Febbraro GAR, Clum GA. A dimensional analysis of claustrophobia. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*. 1995;17(4):335-51.
24. Delgado MR, Olsson A, Phelps EA. Extending animal models of fear conditioning to humans. *Biological psychology*. 2006;73(1):39-48.
25. El-Kordi A, Kästner A, Grube S, Klugmann M, Begemann M, Sperling S, et al. A single gene defect causing claustrophobia. *Translational psychiatry*. 2013;3(4):e254.
26. Garcia R. Neurobiology of fear and specific phobias. *Learning & memory (Cold Spring Harbor, NY)*. 2017;24(9):462-71.
27. LaGuardia K. Claustrophobia in Radiology Departments. *Radiologic technology*. 2017;88(3):346-8.

28. Dewey M, Schink T, Dewey CF. Claustrophobia during magnetic resonance imaging: cohort study in over 55,000 patients. *Journal of magnetic resonance imaging : JMRI*. 2007;26(5):1322-7.
29. Murphy KJ, Brunberg JA. Adult claustrophobia, anxiety and sedation in MRI. *Magnetic resonance imaging*. 1997;15(1):51-4.
30. Napp AE, Enders J, Roehle R, Diederichs G, Rief M, Zimmermann E, et al. Analysis and Prediction of Claustrophobia during MR Imaging with the Claustrophobia Questionnaire: An Observational Prospective 18-month Single-Center Study of 6500 Patients. *Radiology*. 2016:160476.
31. Nguyen XV, Tahir S, Bresnahan BW, Andre JB, Lang EV, Mossa-Basha M, et al. Prevalence and Financial Impact of Claustrophobia, Anxiety, Patient Motion, and Other Patient Events in Magnetic Resonance Imaging. *Topics in magnetic resonance imaging : TMRI*. 2020;29(3):125-30.
32. Sadigh G, Applegate KE, Saindane AM. Prevalence of Unanticipated Events Associated With MRI Examinations: A Benchmark for MRI Quality, Safety, and Patient Experience. *Journal of the American College of Radiology : JACR*. 2017;14(6):765-72.
33. Melendez JC, McCrank E. Anxiety-related reactions associated with magnetic resonance imaging examinations. *Jama*. 1993;270(6):745-7.
34. Dibble EH, Baird GL, Swenson DW, Healey TT. Psychometric Analysis and Qualitative Review of an Outpatient Radiology-Specific Patient Satisfaction Survey: A Call for Collaboration in Validating a Survey Instrument. *Journal of the American College of Radiology : JACR*. 2017.
35. Berg WA, Blume JD, Adams AM, Jong RA, Barr RG, Lehrer DE, et al. Reasons women at elevated risk of breast cancer refuse breast MR imaging screening: ACRIN 6666. *Radiology*. 2010;254(1):79-87.
36. Dewey M. Claustrophobia preventing MR imaging of the breast. *Radiology*. 2010;256(1):328; author reply -9.
37. Eshed I, Althoff CE, Hamm B, Hermann KG. Claustrophobia and premature termination of magnetic resonance imaging examinations. *Journal of magnetic resonance imaging : JMRI*. 2007;26(2):401-4.
38. Tornqvist E, Mansson A, Larsson EM, Hallstrom I. It's like being in another world- patients' lived experience of magnetic resonance imaging. *Journal of clinical nursing*. 2006;15(8):954-61.

39. Sarji SA, Abdullah BJ, Kumar G, Tan AH, Narayanan P. Failed magnetic resonance imaging examinations due to claustrophobia. *Australasian radiology*. 1998;42(4):293-5.
40. Munn Z, Jordan Z. Interventions to reduce anxiety, distress and the need for sedation in adult patients undergoing magnetic resonance imaging: a systematic review. *International journal of evidence-based healthcare*. 2013;11(4):265-74.
41. Quirk ME, Letendre AJ, Ciottone RA, Lingley JF. Anxiety in patients undergoing MR imaging. *Radiology*. 1989;170(2):463-6.
42. Munn Z, Jordan Z. The effectiveness of interventions to reduce anxiety, claustrophobia, sedation and non-completion rates of patients undergoing high technology medical imaging. *JBI library of systematic reviews*. 2012;10(19):1122-85.
43. Hricak H, Amparo EG. Body MRI: alleviation of claustrophobia by prone positioning. *Radiology*. 1984;152(3):819.
44. Francis JM, Pennell DJ. Treatment of claustrophobia for cardiovascular magnetic resonance: use and effectiveness of mild sedation. *Journal of cardiovascular magnetic resonance : official journal of the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2000;2(2):139-41.
45. Bluemke DA, Breiter SN. Sedation procedures in MR imaging: safety, effectiveness, and nursing effect on examinations. *Radiology*. 2000;216(3):645-52.
46. Hollenhorst J, Munte S, Friedrich L, Heine J, Leuwer M, Becker H, et al. Using intranasal midazolam spray to prevent claustrophobia induced by MR imaging. *AJR American journal of roentgenology*. 2001;176(4):865-8.
47. Berlin L. Sedation and analgesia in MR imaging. *AJR American journal of roentgenology*. 2001;177(2):293-6.
48. Malviya S, Voepel-Lewis T, Eldevik OP, Rockwell DT, Wong JH, Tait AR. Sedation and general anaesthesia in children undergoing MRI and CT: adverse events and outcomes. *British journal of anaesthesia*. 2000;84(6):743-8.
49. Radtke FM, Franck M, Hagemann L, Seeling M, Wernecke KD, Spies CD. Risk factors for inadequate emergence after anesthesia: emergence delirium and hypoactive emergence. *Minerva anesthesiologica*. 2010;76(6):394-403.
50. Aldecoa C, Bettelli G, Bilotta F, Sanders RD, Audisio R, Borzodina A, et al. European Society of Anaesthesiology evidence-based and consensus-based guideline on postoperative delirium. *European journal of anaesthesiology*. 2017;34(4):192-214.

51. Redd WH, Manne SL, Peters B, Jacobsen PB, Schmidt H. Fragrance administration to reduce anxiety during MR imaging. *Journal of magnetic resonance imaging : JMRI*. 1994;4(4):623-6.
52. Stanley E, Cradock A, Bisset J, McEntee C, O'Connell MJ. Impact of sensory design interventions on image quality, patient anxiety and overall patient experience at MRI. *The British journal of radiology*. 2016;89(1067):20160389.
53. Harned RK, 2nd, Strain JD. MRI-compatible audio/visual system: impact on pediatric sedation. *Pediatric radiology*. 2001;31(4):247-50.
54. Lemaire C, Moran GR, Swan H. Impact of audio/visual systems on pediatric sedation in magnetic resonance imaging. *Journal of magnetic resonance imaging : JMRI*. 2009;30(3):649-55.
55. Lukins R, Davan IG, Drummond PD. A cognitive behavioural approach to preventing anxiety during magnetic resonance imaging. *Journal of behavior therapy and experimental psychiatry*. 1997;28(2):97-104.
56. Napp AE, Diekhoff T, Stoiber O, Enders J, Diederichs G, Martus P, et al. Audio-guided self-hypnosis for reduction of claustrophobia during MR imaging: results of an observational 2-group study. *European radiology*. 2021.
57. Rahani VK, Vard A, Najafi M. Claustrophobia Game: Design and Development of a New Virtual Reality Game for Treatment of Claustrophobia. *Journal of medical signals and sensors*. 2018;8(4):231-7.
58. Malbos E, Mestre DR, Note ID, Gellato C. Virtual reality and claustrophobia: multiple components therapy involving game editor virtual environments exposure. *Cyberpsychology & behavior : the impact of the Internet, multimedia and virtual reality on behavior and society*. 2008;11(6):695-7.
59. Tazegul G, Etcioğlu E, Yildiz F, Yildiz R, Tuney D. Can MRI related patient anxiety be prevented? *Magnetic resonance imaging*. 2015;33(1):180-3.
60. Selim MA. Effect of pre-instruction on anxiety levels of patients undergoing magnetic resonance imaging examination. *Eastern Mediterranean health journal = La revue de sante de la Mediterranee orientale = al-Majallah al-sihhiyah li-sharq al-mutawassit*. 2001;7(3):519-25.
61. Quirk ME, Letendre AJ, Ciottone RA, Lingley JF. Evaluation of three psychologic interventions to reduce anxiety during MR imaging. *Radiology*. 1989;173(3):759-62.

62. Michel SC, Rake A, Gotzmann L, Seifert B, Ferrazzini M, Chaoui R, et al. Pelvimetry and patient acceptability compared between open 0.5-T and closed 1.5-T MR systems. *European radiology*. 2002;12(12):2898-905.
63. Bangard C, Paszek J, Berg F, Eyl G, Kessler J, Lackner K, et al. MR imaging of claustrophobic patients in an open 1.0T scanner: motion artifacts and patient acceptability compared with closed bore magnets. *European journal of radiology*. 2007;64(1):152-7.
64. Hunt CH, Wood CP, Lane JI, Bolster BD, Bernstein MA, Witte RJ. Wide, short bore magnetic resonance at 1.5 t: reducing the failure rate in claustrophobic patients. *Clinical neuroradiology*. 2011;21(3):141-4.
65. Parizh TCCaM. Advances in Whole-Body MRI Magnets. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. 2011;21(3):2104-9.
66. Enders J, Rief M, Zimmermann E, Asbach P, Diederichs G, Wetz C, et al. High-field open versus short-bore magnetic resonance imaging of the spine: a randomized controlled comparison of image quality. *PloS one*. 2013;8(12):e83427.
67. Brunquell CL, Hoff MN, Balu N, Nguyen XV, Oztek MA, Haynor DR. Making Magnets More Attractive: Physics and Engineering Contributions to Patient Comfort in MRI. *Topics in magnetic resonance imaging : TMRI*. 2020;29(4):167-74.
68. Marques JP, Simonis FFJ, Webb AG. Low-field MRI: An MR physics perspective. *J Magn Reson Imaging*. 2019;49(6):1528-42.
69. Calabrese M, Brizzi D, Carbonaro L, Chiaramondia M, Kirchin MA, Sardanelli F. Contrast-enhanced breast MR imaging of claustrophobic or oversized patients using an open low-field magnet. *La Radiologia medica*. 2009;114(2):267-85.
70. Enders J, Zimmermann E, Rief M, Martus P, Klingebiel R, Asbach P, et al. Reduction of claustrophobia with short-bore versus open magnetic resonance imaging: a randomized controlled trial. *PloS one*. 2011;6(8):e23494.
71. Ahlander BM, Engvall J, Ericsson E. Anxiety during magnetic resonance imaging of the spine in relation to scanner design and size. *Radiography (Lond)*. 2020;26(2):110-6.
72. Baker MA, MacKay S. Please be upstanding - A narrative review of evidence comparing upright to supine lumbar spine MRI. *Radiography (London, England : 1995)*. 2021;27(2):721-6.
73. Jinkins JR, Dworkin JS, Damadian RV. Upright, weight-bearing, dynamic-kinetic MRI of the spine: initial results. *European radiology*. 2005;15(9):1815-25.

74. Wald LL, McDaniel PC, Witzel T, Stockmann JP, Cooley CZ. Low-cost and portable MRI. *Journal of magnetic resonance imaging : JMRI*. 2020;52(3):686-96.
75. Khodarahmi I, Fishman EK, Fritz J. Dedicated CT and MRI Techniques for the Evaluation of the Postoperative Knee. *Seminars in musculoskeletal radiology*. 2018;22(4):444-56.
76. Gupta N, Karol I, Kumar Y, Rapillo B, Soni N, Hayashi D. Modified technique for imaging the wrist and elbow in obese and claustrophobic patients using a non-open standard MRI scanner. *Skeletal radiology*. 2019;48(4):615-9.
77. CD S, CD E, J M. State-trait anxiety inventory. Palo Alto: Consulting Psychologist Press. 1983.
78. MacKenzie R, Sims C, Owens RG, Dixon AK. Patients' perceptions of magnetic resonance imaging. *Clinical radiology*. 1995;50(3):137-43.
79. Carlsson S, Carlsson E. 'The situation and the uncertainty about the coming result scared me but interaction with the radiographers helped me through': a qualitative study on patients' experiences of magnetic resonance imaging examinations. *Journal of clinical nursing*. 2013;22(21-22):3225-34.
80. Katz RC, Wilson L, Frazer N. Anxiety and its determinants in patients undergoing magnetic resonance imaging. *Journal of behavior therapy and experimental psychiatry*. 1994;25(2):131-4.
81. Munn Z, Jordan Z. The patient experience of high technology medical imaging: a systematic review of the qualitative evidence. *JBI library of systematic reviews*. 2011;9(19):631-78.
82. Fishbain D, Goldberg M, Labbe E, Zacher D, Steele-Rosomoff R, Rosomoff H. MR imaging as a trigger for persistent claustrophobia. *AJR American journal of roentgenology*. 1989;152(3):653.
83. Radomsky AS, Rachman S, Thordarson DS, Mclsaac HK, Teachman BA. The Claustrophobia Questionnaire. *Journal of anxiety disorders*. 2001;15(4):287-97.
84. Youssefzadeh S, Eibenberger K, Helbich T, Dorffner R, Dantendorfer K, Breitenseher M, et al. Reduction of adverse events in MRI of the breast by personal patient care. *Clinical radiology*. 1997;52(11):862-4.
85. Thorpe S, Salkovskis PM, Dittner A. Claustrophobia in MRI: the role of cognitions. *Magnetic resonance imaging*. 2008;26(8):1081-8.
86. Nair S, Sagar M, Sollers J, 3rd, Consedine N, Broadbent E. Do slumped and upright postures affect stress responses? A randomized trial. *Health psychology : official*

journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association. 2015;34(6):632-41.

87. Lacey CM, Finkelstein M, Thygeson MV. The impact of positioning on fear during immunizations: supine versus sitting up. *Journal of pediatric nursing*. 2008;23(3):195-200.

88. Gossett EW, Wheelock MD, Goodman AM, Orem TR, Harnett NG, Wood KH, et al. Anticipatory stress associated with functional magnetic resonance imaging: Implications for psychosocial stress research. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*. 2018;125:35-41.

89. Lopez C, Blanke O. How body position influences the perception and conscious experience of corporeal and extrapersonal space. *Revue de neuropsychologie*. 2010;2(3):195-202.

90. Shafran R, Booth R, Rachman S. The reduction of claustrophobia--II: Cognitive analyses. *Behaviour research and therapy*. 1993;31(1):75-85.

91. Harris LM, Cumming SR, Menzies RG. Predicting anxiety in magnetic resonance imaging scans. *International journal of behavioral medicine*. 2004;11(1):1-7.

92. Peters S, Cleare AJ, Papadopoulos A, Fu CH. Cortisol responses to serial MRI scans in healthy adults and in depression. *Psychoneuroendocrinology*. 2011;36(5):737-41.

93. Boettcher H, Barlow DH. The unique and conditional effects of interoceptive exposure in the treatment of anxiety: A functional analysis. *Behaviour research and therapy*. 2018.

94. Kilborn LC, Labbe EE. Magnetic resonance imaging scanning procedures: development of phobic response during scan and at one-month follow-up. *Journal of behavioral medicine*. 1990;13(4):391-401.

95. Thompson RF, Spencer WA. Habituation: a model phenomenon for the study of neuronal substrates of behavior. *Psychol Rev*. 1966;73(1):16-43.

96. McJury M, Shellock FG. Auditory noise associated with MR procedures: a review. *Journal of magnetic resonance imaging : JMRI*. 2000;12(1):37-45.

97. Fischer S, Grodzki DM, Domschke M, Albrecht M, Bodelle B, Eichler K, et al. Quiet MR sequences in clinical routine: initial experience in abdominal imaging. *La Radiologia medica*. 2017;122(3):194-203.

98. Heismann B, Ott M, Grodzki D. Sequence-based acoustic noise reduction of clinical MRI scans. *Magnetic resonance in medicine*. 2015;73(3):1104-9.

99. Hattori Y, Fukatsu H, Ishigaki T. Measurement and evaluation of the acoustic noise of a 3 Tesla MR scanner. *Nagoya journal of medical science*. 2007;69(1-2):23-8.
100. Lourenco SF, Longo MR, Pathman T. Near space and its relation to claustrophobic fear. *Cognition*. 2011;119(3):448-53.
101. Hunley SB, Marker AM, Lourenco SF. Individual Differences in the Flexibility of Peripersonal Space. *Experimental psychology*. 2017;64(1):49-55.
102. Cléry J, Guipponi O, Wardak C, Ben Hamed S. Neuronal bases of peripersonal and extrapersonal spaces, their plasticity and their dynamics: knowns and unknowns. *Neuropsychologia*. 2015;70:313-26.
103. Ogbole GI, Adeyomoye AO, Badu-Peprah A, Mensah Y, Nzeh DA. Survey of magnetic resonance imaging availability in West Africa. *Pan Afr Med J*. 2018;30:240.
104. Guckel B, Gatidis S, Enck P, Schafer J, Bisdas S, Pfannenbergl C, et al. Patient comfort during positron emission tomography/magnetic resonance and positron emission tomography/computed tomography examinations: subjective assessments with visual analog scales. *Investigative radiology*. 2015;50(10):726-32.
105. Koonjoo N, Zhu B, Bagnall GC, Bhutto D, Rosen MS. Boosting the signal-to-noise of low-field MRI with deep learning image reconstruction. *Sci Rep*. 2021;11(1):8248.
106. de Leeuw den Bouter M, van Gijzen M, Remis R. Low-field magnetic resonance imaging using multiplicative regularization. *Magnetic resonance imaging*. 2021;75:21-33.
107. James G. Pipe. High-Value MRI. *J Magn Reson Imaging*. 12. September 2018;49(7 Special Issue: Special Issue on the Value of MRI):e12-e3.
108. Link TM, Patel R. The need for short MRI examinations: A musculoskeletal perspective. *Journal of magnetic resonance imaging : JMRI*. 2019;49(7):e49-e50.
109. Törnqvist E, Månsson A, Larsson EM, Hallström I. Impact of extended written information on patient anxiety and image motion artifacts during magnetic resonance imaging. *Acta radiologica (Stockholm, Sweden : 1987)*. 2006;47(5):474-80.
110. Tillier P, Lecllet H, Malgouyres A, Laplanche T, Madoux M, Picoult C, et al. [Psychological behavior of patients in MRI: analysis, proposals for improvement and contribution of open magnet equipment]. *Journal de radiologie*. 1997;78(6):433-7.
111. Moelker A, Wielopolski PA, Pattynama PM. Relationship between magnetic field strength and magnetic-resonance-related acoustic noise levels. *Magma (New York, NY)*. 2003;16(1):52-5.
112. Ravicz ME, Melcher JR. Isolating the auditory system from acoustic noise during functional magnetic resonance imaging: examination of noise conduction through the ear

canal, head, and body. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2001;109(1):216-31.

113. Baldwin KM, Spears MJ. Improving the Patient Experience and Decreasing Patient Anxiety With Nursing Bedside Report. *Clinical nurse specialist CNS*. 2019;33(2):82-9.

Eidesstattliche Erklärung

„Ich, Elisa Weidner (geb. Iwan), versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema:

Designpräferenzen klaustrophobischer Patienten*Innen für die Entwicklung zukünftiger MRT-Scanner// Design preferences of claustrophobic patients for the development of future MRI-Scanners

selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum 04.11.2022

Unterschrift

Anteilserklärung

Elisa Weidner (geb. Iwan) hatte folgenden Anteil an der folgenden Publikation:

Publikation: *Iwan E, Yang J, Enders J, Napp AE, Rief M, Dewey M. Patient preferences for development in MRI scanner design: a survey of claustrophobic patients in a randomized study. Eur Radiol. 2021 Mar;31(3):1325-1335. doi: 10.1007/s00330-020-07060-9. Epub 2020 Sep 2. PMID: 32876831; PMCID: PMC7880963*

Die Erstellung des Studienkonzeptes und Durchführung der Studie sowie der Entwurf des Fragebogens zur Patientenzufriedenheit sowie der Abbildungen auf den Fragebögen erfolgte durch J. Enders, E. Zimmermann, M. Rief und M. Dewey.

Die Aufbereitung und Säuberung der Daten fand durch J. Enders, E. Zimmermann und E. Weidner (geb. Iwan) statt.

Die Hypothesenbildung und der Entwurf der Fragestellungen zur vorliegenden Publikation wurde durch E. Weidner (geb. Iwan) unter Supervision von M. Rief sowie M. Dewey realisiert.

Die Konzeptualisierung des Artikels zur Publikation erfolgte durch E. Weidner (geb. Iwan) zusammen mit M. Rief und M. Dewey

Die Plausibilität der Daten wurde durch E. Weidner (geb. Iwan) sowie J. Enders geprüft.

Die Daten für die statistische Auswertung wurden durch E. Weidner (geb. Iwan), J. Enders und J. Yang aufgearbeitet.

Die statistische Auswertung erfolgte durch E. Weidner (geb. Iwan) und J. Yang.

Die Erstellung des Manuskriptes erfolgte durch E. Weidner (geb. Iwan) unter Supervision und mit Unterstützung durch M. Rief, M. Dewey und A. Napp.

Der Fragebogen für die Verwendung in der Studie und im Anhang der Publikation sowie die darin abgebildeten schematischen Scannerzeichnungen wurden durch J. Enders erstellt. Alle Tabellen und Abbildungen in der Publikation wurden durch E. Weidner (geb. Iwan) unter Supervision durch M. Rief sowie M. Dewey erstellt, wobei bei den Abbildungen 1 und 2 die schematischen Scannerzeichnungen von J. Enders mitverwendet wurden.

Das Einreichen des Manuskriptes erfolgte durch E. Weidner (geb. Iwan) zusammen mit M. Dewey.

Die Restrukturierung und Überarbeitung der Publikation nach Kommentaren der Peer-Reviewer wurde durch E. Weidner (geb. Iwan) sowie A. Napp und M. Rief realisiert

Unterschrift des Doktoranden/der Doktorandin

Auszug aus der Journal Summary List (ISI Web of Knowledge SM)

Journal Data Filtered By: **Selected JCR Year: 2018** Selected Editions: SCIE,SSCI
 Selected Categories: **"RADIOLOGY, NUCLEAR MEDICINE and MEDICAL IMAGING"** Selected Category Scheme: WoS
Gesamtanzahl: 129 Journale

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
1	JACC-Cardiovascular Imaging	8,801	10.975	0.026160
2	MEDICAL IMAGE ANALYSIS	7,694	8.880	0.013370
3	IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING	19,545	7.816	0.024990
4	RADIOLOGY	54,641	7.608	0.061300
5	JOURNAL OF NUCLEAR MEDICINE	27,551	7.354	0.037990
6	EUROPEAN JOURNAL OF NUCLEAR MEDICINE AND MOLECULAR IMAGING	15,406	7.182	0.024760
7	CLINICAL NUCLEAR MEDICINE	4,922	6.498	0.007680
8	INTERNATIONAL JOURNAL OF RADIATION ONCOLOGY BIOLOGY PHYSICS	45,833	6.203	0.046810
9	INVESTIGATIVE RADIOLOGY	6,563	6.091	0.011150
10	Circulation-Cardiovascular Imaging	5,456	5.813	0.018480
11	NEUROIMAGE	99,720	5.812	0.132720
12	ULTRASOUND IN OBSTETRICS & GYNECOLOGY	12,336	5.595	0.020140
13	European Heart Journal-Cardiovascular Imaging	5,498	5.260	0.021650
14	RADIOTHERAPY AND ONCOLOGY	17,873	5.252	0.027470
15	Photoacoustics	512	5.250	0.001330
16	JOURNAL OF CARDIOVASCULAR MAGNETIC RESONANCE	5,113	5.070	0.014020
17	ULTRASCHALL IN DER MEDIZIN	2,238	4.613	0.003700
18	HUMAN BRAIN MAPPING	22,040	4.554	0.043230
19	JOURNAL OF NUCLEAR CARDIOLOGY	3,711	4.112	0.004480
20	EUROPEAN RADIOLOGY	19,597	3.962	0.033870

Originalpublikation

Iwan E, Yang J, Enders J, Napp AE, Rief M, Dewey M. Patient preferences for development in MRI scanner design: a survey of claustrophobic patients in a randomized study. *Eur Radiol.* 2021 Mar;31(3):1325-1335. doi: 10.1007/s00330-020-07060-9. Epub 2020 Sep 2. PMID: 32876831; PMCID: PMC7880963.

<https://doi.org/10.1007/s00330-020-07060-9>

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht

Publikationsliste

Iwan E, Yang J, Enders J, Napp AE, Rief M, Dewey M. Patient preferences for development in MRI scanner design: a survey of claustrophobic patients in a randomized study. *Eur Radiol.* 2021 Mar;31(3):1325-1335. doi: 10.1007/s00330-020-07060-9. Epub 2020 Sep 2. PMID: 32876831; PMCID: PMC7880963.
Impactfactor *European Radiology* 2020: 5.315

Wolf A, Iwan E, Grunow JJ. Die postoperative kognitive Störung: Entwicklungen und Perspektiven. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther.* 2019 Nov;54(11-12):649-651. German. doi: 10.1055/a-1022-8062. Epub 2019 Dec 5. PMID: 31805584.
Impactfaktor *AINS* 2019: 0.531

Danksagung

Herrn Prof. Dr. Marc Dewey gilt mein Dank für die Überlassung des Dissertationsthemas sowie die uneingeschränkte Unterstützung, wissenschaftlichen Hinweise und die Aufnahme in seine wissenschaftliche Arbeitsgruppe. Besonders die vielen Aktivitäten und Vernetzung in der Arbeitsgruppe waren für mich ein Beispiel wie wichtig eine gute Zusammenarbeit im Team für jede gute wissenschaftliche Arbeit ist.

Außerdem gilt mein besonderer Dank meinen Betreuer*Innen, Dr. Adriane Napp und Dr. Matthias Rief, für die konstante Unterstützung bei der Erstellung der Dissertation. Zudem danke ich Dr. Judith Enders für die Überlassung der Daten.

Ich möchte mich auch herzlich bei den vielen Mitgliedern der Arbeitsgruppe bedanken, insbesondere Dr. Maria Bosserdt und Dr. Melanie Estrella, für die Hilfe, Motivation und die vielen gemeinsamen Stunden und Mittagspausen.

Vielen Dank auch an Frau Herwig für den englischsprachlichen Review der verschiedenen Publikationsversionen.

Zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie und Freunden für die andauernde Unterstützung und Motivation bedanken.