

Diplomarbeit

Quantitative Auswertung des KM-Enhancements der Arterien und Venen bei koronarer CTA mit verschiedenen Jodkonzentrationen der KM mit besonderer Berücksichtigung von Artefaktbildung und der diagnostischen Aussagekraft

eingereicht von

Daniel Stocker

Geb.Dat.: 03.05.1988

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der gesamten Heilkunde

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Universitätsklinik für Radiologie

unter der Anleitung von

Prof. Dr. Helmut Schöllnast

Doz. Dr. Manfred Tillich

Ort, Datum: Graz, 29.10.2013

Unterschrift.....

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

Unterschrift

Vorwort

Bereits nach dem Modul 14 – Wissensgewinnung, Information und Visualisierung erwachte das Interesse an Radiologie in mir und ich wusste, dass ich später gerne die Ausbildung zum Facharzt für Radiologie absolvieren möchte. So fiel es mir nicht allzu schwer ein Fachgebiet für meine anstehende Diplomarbeit auszuwählen. Also suchte ich Herrn Professor Dr. Hellmut Schöllnast auf und fragte, ob er zurzeit an einem interessanten Projekt arbeitete. Was dabei herauskam können Sie auf den folgenden Seiten lesen.

Nach dem Einreichen des Antrages bei der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz begann ich mit der Literatursuche in PubMed. Um einen Überblick über das Themengebiet zu bekommen las ich das Praxisbuch Herz-CT (Springerverlag) von Alkadhi et al. An die erfolgreichen Recherchen anschließend begann ich mit den Messungen am Diagnostikum Graz Süd West als auch an der Abteilung für allgemeine radiologische Diagnostik der Medizinischen Universität Graz.

Nach der Erhebung aller Messwerte wurden diese an das Institut für Medizinische Informatik, Statistik und Dokumentation weitergeleitet und ausgewertet. Anschließend erfolgte die Interpretation der statistischen Werte und ich begann mit dem Schreiben der Diplomarbeit.

Aufgrund der besseren Lesbarkeit wurde auf eine gendergerechte Formulierung verzichtet.

Danksagungen

Vor allem möchte ich mich recht herzlich bei Herrn Professor Dr. Helmut Schöllnast und Herrn Dozenten Dr. Manfred Tillich für die gute Zusammenarbeit und die Hilfestellung während des Verfassen dieser Arbeit bedanken. Weiters danke ich meinen Eltern und Großeltern für die finanzielle und ermutigende Unterstützung ohne diese ich mein Studium nicht absolvieren hätte können. Auch meinen Studienkollegen, die im Laufe der Zeit zu guten Freunden wurden, möchte ich meinen Dank für die gute Zusammenarbeit und die lustige Freizeitaktivitäten aussprechen.

Zusammenfassung

Ziel

Mit dieser Studie wollen wir untersuchen, wie das Kontrastmittel-Enhancement der Koronararterien und der Herzkammern bei der Computertomografie des Herzens vom Scan-Modus und der Jod-Dosis des Kontrastmittels beeinflusst wird.

Material und Methoden

Insgesamt untersuchten wir 175, retrospektiv ausgewählte Patienten zwischen 18 und 86 Jahren (mittleres Alter: 62 Jahre). Diese unterteilten wir in vier Gruppen, die sich in der Art des Scan-Modus und der Jod-Dosis unterschieden. Gruppe 1 erhielt 75 ml Kontrastmittel mit einer Jodkonzentration von 320 mg/ml, Gruppe 2 erhielt 90 ml mit 350 mg/ml, Gruppe 3 und Gruppe 4 erhielten jeweils 70 ml mit 400 mg Jod pro Milliliter. Die ersten drei Gruppen wurden am 64-slice Cardiac helical CT-Gerät (Somaton Sensation 64 Cardiac, Fa. Siemens AG, Forchheim) untersucht während die Gruppe 4 mit dem 320-slice volume CT-Gerät (Aquilion ONE, Toshiba Medical Systems GmbH, Otawara-shi, Tochigi-ken, Japan) untersucht wurde. Messungen des Kontrastierungsgrades führten wir in der Aorta, dem rechten und linken Herzvorhof, der rechten und linken Herzkammer und der Vena cava superior (VCS) durch. Um die Gruppen miteinander zu vergleichen, verwendeten wir den Kruskal-Wallis-Test, den Wilcoxon-Test und die Spearman-Korrelation.

Ergebnisse

Es kam in der Aorta und dem linken Herzen zu einem signifikant höheren Enhancement in der Gruppe 3 als in den Gruppen 1 und 2. Die Probanden der Gruppe 4 zeigten in der Gegenüberstellung zur Gruppe 3 ebenfalls ein signifikant höheres Enhancement.

Diskussion

Der Volumen Modus des CT-Gerätes führte zu einer deutlichen Steigerung der Kontrastierung in allen Messbereichen. Die Standard Deviation war unabhängig von der verwendeten Kontrastmittelmenge und von der Art der CT-Untersuchung.

Abstract

The influence the iodine dose of the contrast media and the scan mode on arterial enhancement in cardiac CT

E. Talakic¹, D. Stocker¹, P. Täubl¹, R. Maderthaner¹, F. Quehenberger², H. Schoellnast¹, M. Tillich³

¹: Department of Radiology, Medical University of Graz, Auenbruggerplatz 9, 8036 Graz, Austria

²: Institute for Medical Informatics, Statistics and Documentation, Medical University of Graz, Auenbruggerplatz 2, 8036 Graz, Austria

³: Diagnostikum Graz Süd West GmbH, Weblinger Gürtel 25, 8054 Graz, Austria

Purpose: To assess the influence the iodine dose of contrast media and scan mode on arterial enhancement in cardiac CT.

Material and Methods: 175 patients (mean age, 62; range, 18-86 years) who underwent cardiac CT were retrospectively divided into 4 groups related to scan mode (64-slice helical CT or 320-slice volume CT) and contrast media iodine concentration (320, 350 or 400 mgI/mL) - Group 1: helical, 320 (75 mL); group 2: helical, 350 (90 mL); group 3: helical, 400 (70 mL), and group 4: volume, 400 (70 mL). Injection rate was 5 mL/sec in all patients. ROI measurements were performed in the aorta at the level of the coronary arteries and in the cardiac chambers to assess enhancement, and in the superior vena cava (SVC) to measure the standard deviation of the attenuation values for assessment of inflow artifacts. Spearman Correlation and Wilcoxon test were used for comparison.

Results: Patients in group 3 showed significantly higher mean aortal enhancement than patients in group 1 or 2 (334 HU versus 286 HU and 306 HU). Patients in group 4 showed significantly higher aortal enhancement than patients in group 3 (497 HU). Patients in group 4 showed significantly higher enhancement in the right atrium and ventricle than patients in group 3. No significant difference in the standard deviation of attenuation was seen within the SVC.

Conclusion: In cardiac CT, the volume mode led to significantly higher aortal enhancement and also higher contrast within right atrium and ventricle compared to helical mode. Scan mode as well as iodine dose had no influence on heterogeneity of contrast within the SVC.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|------------------------------------|-----|
| Vorwort..... | iii |
| Danksagungen | iv |
| Zusammenfassung | v |
| Ziel..... | v |
| Material und Methoden | v |
| Ergebnisse..... | v |
| Diskussion | v |
| Abstract..... | vi |
| Inhaltsverzeichnis | vii |
| Glossar und Abkürzungen | ix |
| Abbildungsverzeichnis | xi |
| Tabellenverzeichnis | xii |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Allgemein | 1 |
| 1.2 Studie..... | 3 |
| 2 Material und Methoden | 6 |
| 2.1 Kohorte..... | 6 |
| 2.2 Gruppen | 6 |
| 2.2.1 Gruppe 1 | 6 |
| 2.2.2 Gruppe 2 | 6 |
| 2.2.3 Gruppe 3 | 7 |
| 2.2.4 Gruppe 3' | 7 |
| 2.2.5 Gruppe 4..... | 7 |
| 2.3 Untersuchung allgemein..... | 8 |

| | | |
|-------|-------------------------------|----|
| 2.4 | Untersuchungsablauf | 8 |
| 2.4.1 | Patientenvorbereitung | 8 |
| 2.4.2 | Untersuchungsprotokolle | 10 |
| 2.5 | Statistische Verfahren | 12 |
| 2.5.1 | Allgemein | 12 |
| 2.5.2 | Deskriptive Statistik | 13 |
| 3 | Ergebnisse | 18 |
| 4 | Diskussion | 24 |
| 5 | Conclusion | 28 |
| 6 | Literaturverzeichnis | 29 |

Glossar und Abkürzungen

| | |
|--------------------------|-------------------------------------|
| 1 st Qu. | Erste Quantile |
| 3 rd Qu. | Dritte Quantile |
| AG | Aktiengesellschaft |
| BMI..... | Body-Mass-Index |
| bpm..... | Beats per minute |
| bzw. | Beziehungsweise |
| cm | Zentimeter |
| CT | Computertomographie |
| CTA | Computertomographische Angiographie |
| Eh..... | Einheit |
| EKG..... | Elektrokardiographie |
| et al. | und andere |
| HF | Herzfrequenz |
| HU | Hounsfield Units |
| J..... | Jod |
| kg | Kilogramm |
| kV | Kilovolt |
| KHK | koronare Herzkrankheit |
| LCA | Left Coronary Artery |
| li..... | Linke(r) |
| mAs..... | Milliamperesekunde |
| Max..... | Maximalwert |
| mg..... | Milligramm |
| mg/ml..... | Milligramm pro Milliliter |

Min. Minimalwert
ml Milliliter
ml/s Milliliter pro Sekunde
mmHg Millimeter Quecksilbersäule
NaCl Natriumchlorid
p.G-Wert p-Wert des Kruskal-Wallis-Test
p.J-Wert p-Wert der Spearman-Korrelation für die Gruppe 1 bis 3
p.Z-Wert p-Wert des Wilcoxon-Test zwischen den Gruppen 3 und 4
re. Rechte(r)
ROI Region of Interest
SD Standard Deviation
VCS Vena cava superior

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|---|
| Abbildung 1: ROI Aorta ascendens (Aorta 1)..... | 4 |
| Abbildung 2: ROI Aorta descendens (Aorta 2)..... | 4 |
| Abbildung 3: ROI rechter Vorhof (durchgehender Pfeil); ROI rechte Herzkammer (strichlierter Pfeil); ROI linker Vorhof (punktierter Pfeil); ROI linke Herzkammer (strichpunktierter Pfeil)..... | 5 |
| Abbildung 4: ROI VCS | 5 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Verwendete Medikation bei zu hoher Herzfrequenz..... | 9 |
| Tabelle 2: Scan-Modus, Kontrastmittelprotokoll, Jod-Dosis und Flussrate des in den verschiedenen Gruppen | 11 |
| Tabelle 3: Deskriptive Statistik der Gruppe 1 | 14 |
| Tabelle 4: Deskriptive Statistik der Gruppe 2 | 14 |
| Tabelle 5: Deskriptive Statistik der Gruppe 3 | 15 |
| Tabelle 6: Deskriptive Statistik der Gruppe 3' | 16 |
| Tabelle 7: Deskriptive Statistik der Gruppe 4 | 17 |
| Tabelle 8: Ergebnisse im Messbereich der Aorta descendens (Aorta 1)..... | 18 |
| Tabelle 9: Ergebnisse im Messbereich der Aorta descendens (Aorta 2)..... | 19 |
| Tabelle 10: Ergebnisse im Messbereich des rechten Vorhofs (re. Atrium)..... | 20 |
| Tabelle 11: Ergebnisse im Messbereich rechten Herzkammer (re. Ventrikel)..... | 20 |
| Tabelle 12: Ergebnisse im Messbereich des linken Vorhofs (li. Atrium) | 21 |
| Tabelle 13: Ergebnisse im Messbereich der linken Herzkammer (li. Ventrikel) | 22 |
| Tabelle 14: Ergebnisse im Messbereich der VCS | 22 |
| Tabelle 15: Vergleich des Kontrastmittel-Enhancements zwischen der Gruppe 3' und der Gruppe 4 | 26 |
| Tabelle 16: Einfluss des BMI auf das Kontrastmittel-Enhancement | 27 |

1 Einleitung

1.1 Allgemein

Aufgrund der raschen technologischen Entwicklung wurde die Computertomographie in den letzten Jahren zu einer der besten und beliebtesten nicht invasiven Untersuchungsmethode der Koronararterien bei Patienten mit geringem bis mittlerem Risiko für eine koronare Herzkrankheit (KHK) (1,2). Vor allem zum Ausschluss einer KHK bei Patienten mit niedriger oder niedrig-intermediärer Prävalenz, atypischer Symptomatik, unklarem Ischämietest oder bei Patienten mit bereits bekannter KHK zur Gewinnung zusätzlicher Informationen für die Therapieplanung und das Monitoring ist die CTA (computertomographische Angiographie) des Herzens geeignet. Weitere ergänzende Indikationen sind der Verdacht auf Koronaranomalien, kongenitale kardiale Vitien, intra- und perikardiale Raumforderungen, konstriktive Perikarditis und zur prä- bzw. postoperativen Diagnostik (3). Durch die immer schneller werdende Untersuchungs geschwindigkeit konnten Bewegungsartefakte auf ein Minimum reduziert werden (4). Für die optimale Darstellung und Beurteilbarkeit der Koronararterien ist es notwendig, ein jodhaltiges Kontrastmittel zu applizieren.

Bereits in anderen Studien wurden verschiedene Kontrastmittel-Konzentrationen gegenübergestellt. Mühlenbruch G. et al. (5) verglich in drei Gruppen Jodkonzentrationen von 300 mg/ml, 375 mg/ml und 400 mg/ml miteinander, stellte jedoch keinen statistisch signifikanten Unterschied in der Kontrastmittel Anreicherung der Aorta fest.

Die wichtigste Indikation der CT-Koronarangiographie ist die Bestätigung bzw. der Ausschluss einer koronaren Herzerkrankung eines symptomatischen Patienten, bei dem der EKG-Befund bzw. das Belastungs-EKG nicht aussagekräftig, nicht interpretierbar oder nicht durchführbar ist (6).

Weitere Indikationen:

- Präoperative Abklärung vor Herzklappeneingriffen
- Intermittierende, unklare Arrhythmie
- Planung von Transkatheter-Klappeninterventionen
- Erhöhtes Risiko einer Herzkatheter Untersuchung (bzw. wenn diese nicht aussagekräftig oder nicht interpretierbar ist)
- Patient mit akutem Thoraxschmerz ohne typischen EKG-Befund oder kardialen Biomarkern die auf ein akutes Koronarsyndrom hinweisen

Eine CT-Koronarangiographie sollte auf keinen Fall bei asymptomatischen Patienten eingesetzt werden (6).

1.2 Studie

In unserer Studie untersuchten wir insgesamt 175 Patienten in vier Gruppen mit verschiedenen Jodkontrastmittel-Konzentrationen. Wir untersuchten ob die Hypothese stimmt, dass Kontrastmittel mit einer höheren Jodkonzentration im Vergleich zu denen mit einer niedrigeren Jodkonzentration bei gleicher Injektionsrate zu einer stärkeren Kontrastierung der Koronararterien führen. Das heißt, dass es zu einer besseren Kontrastierung aller Strukturen bei den höher konzentrierten Kontrastmitteln kommen würde, jedoch auch zu einem vermehrten Auftreten von Hochkontrastartefakten.

Wir erhoben die Herzfrequenz während der Untersuchung, das Geschlecht, die Körpergröße sowie das Gewicht aller Patienten. Erwartet wurde, dass bei der Studie vor allem das Körpergewicht und die Körpergröße der Patienten, also der Body-Mass-Index (BMI) das Enhancement beeinflussen würden. Ein hoher BMI würde daher zu einer schwächeren Kontrastierung und zu weniger Hochkontrastartefakten führen. Das heißt aber auch, dass es möglicherweise bei einer zu niedrigen Kontrastmittelkonzentration zu einer eingeschränkten oder sogar zu einer unzureichenden Beurteilbarkeit der CT-Bilder kommen könnte.

Um die unterschiedlichen Gruppen zu vergleichen, setzten wir die Regions of Interest (ROI) in die Aorta ascendens und descendens entsprechend den Start- und Endpunkten des Scans beim Spiralmodus, den rechten und linken Vorhof, die rechte und linke Herzkammer, die Aorta auf Höhe des Abganges der LCA, die LCA, den Truncus pulmonalis und in die Vena cava superior (VCS) knapp proximal der Mündung in den rechten Vorhof. Statistisch ausgewertet wurden jedoch nur die Werte aus den Bereichen des Herzens, der cranialen und caudalen Aorta und der VCS.

Weiters erhoben wir die Standard Deviation (SD) in der VCS. Diese Werte nutzten wir, um die Homogenität des Kontrastmittel-Bolus und mögliche Hochkontrastartefakte zu detektieren und diese unter den einzelnen Gruppen zu vergleichen.

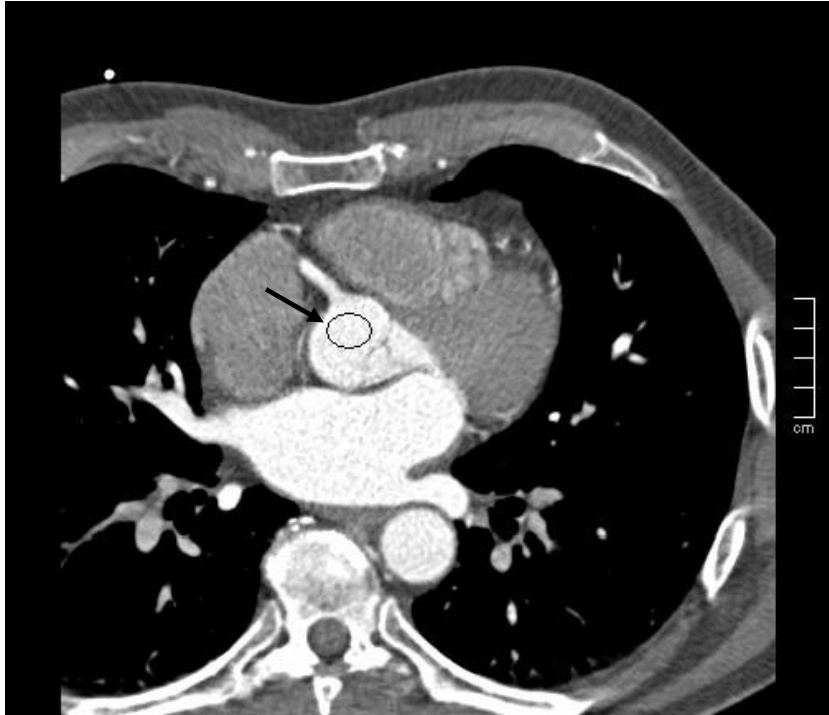


Abbildung 1: ROI Aorta ascendens (Aorta 1)



Abbildung 2: ROI Aorta descendens (Aorta 2)



Abbildung 3: ROI rechter Vorhof (durchgehender Pfeil); ROI rechte Herzkammer (strichlierter Pfeil); ROI linker Vorhof (punktierter Pfeil); ROI linke Herzkammer (strichpunktierter Pfeil)

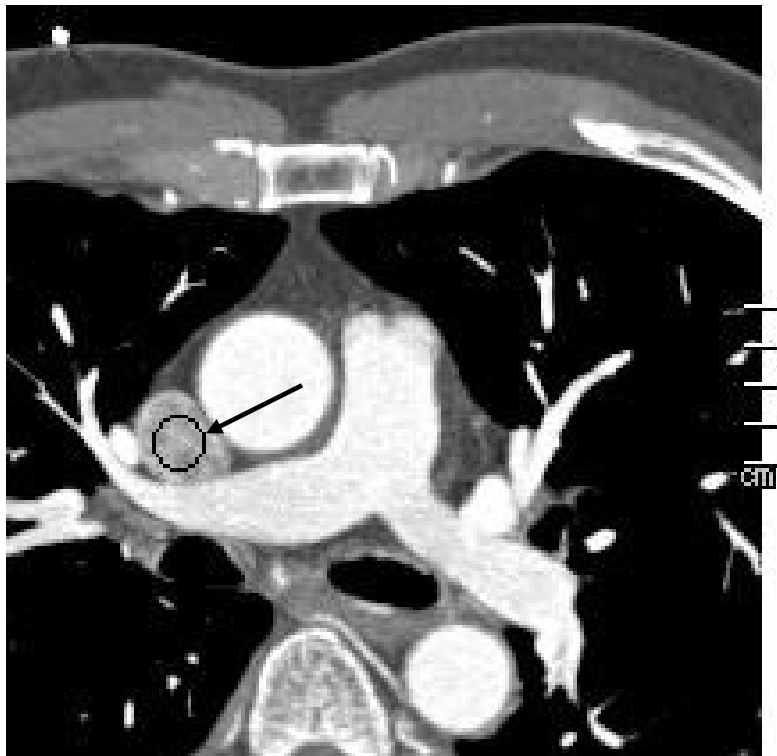


Abbildung 4: ROI VCS

Material und Methoden

1.3 Kohorte

In dieser Studie untersuchten wir in vier Gruppen insgesamt 175 Patienten im Alter zwischen 18 und 86 Jahren. Davon waren 75 Patienten weiblich und 100 Patienten männlich. Das Körpergewicht der Patienten befand sich zum Untersuchungszeitpunkt zwischen 47 kg und 129 kg, die Körpergröße zwischen 143 cm und 190 cm und der daraus resultierende BMI zwischen 15,4 und 44,1.

1.4 Gruppen

1.4.1 Gruppe 1

Die Gruppe 1 umfasste 44 Probanden, 15 weiblich und 29 männlich, im Alter von 20 Jahren bis 86 Jahren. Das Körpergewicht lag zwischen 50 kg und 110 kg, die Körpergröße zwischen 150 cm und 189cm und der BMI zwischen 17,9 und 40.

Die Jodkontrastmittel-Konzentration der Untersuchungen in dieser Gruppe betrug 320 mg/ml bei 75 ml Kontrastmittel.

1.4.2 Gruppe 2

Die Gruppe 2 umfasste 39 Patienten, davon waren 13 weiblich und 26 männlich im Alter zwischen 18 und 83 Jahren. Das Körpergewicht der Probanden reichte von 50 kg bis zu 115 kg, die Körpergröße von 150 cm bis zu 188 cm und der BMI von 15,4 bis zu 40,7.

Diese Gruppe wurde mit einer Jodkontrastmittel-Konzentration von 350 mg/ml und 90 ml Kontrastmittel untersucht.

Bei drei der 39 Patienten gab es keine Angaben über Körpergewicht und Körpergröße.

1.4.3 Gruppe 3

21 der 45 Probanden im Alter zwischen 31 und 82 Jahren aus der Gruppe 3 waren Frauen, 24 Männer. Das Körpergewicht der zu Untersuchenden schwankte zwischen 50 kg und 129 kg, die Körpergröße zwischen 143 cm und 190 cm und der BMI zwischen 19,5 und 44,1.

In dieser Gruppe wurde eine Jodkontrastmittel-Konzentration von 400 mg/ml und 70 ml Kontrastmittel für die Untersuchungen verwendet.

Es lagen bei sieben der 45 Patienten keine Daten über Körpergewicht und Körpergröße vor.

1.4.4 Gruppe 3'

Diese Gruppe bestand aus denselben Probanden wie die Gruppe 3, jedoch wurden alle Patienten über 80 kg ausgeschlossen. Somit ergab sich ein Patientenkontingent aus 22 Personen mit einem Körpergewicht zwischen 50 kg und 80 kg, einer Körpergröße zwischen 143 cm und 180 cm und einem BMI zwischen 19,5 und 30,4.

Die Untersuchung erfolgte wie bei der Gruppe 3 mit einer Jodkontrastmittel-Konzentration von 400 mg/ml und 70 ml Kontrastmittel.

Bei allen 22 Patienten lagen die Daten über Körpergewicht und Körpergröße vor.

1.4.5 Gruppe 4

In der Gruppe 4 befanden sich 47 Probanden (21 männlich, 26 weiblich) im Alter zwischen 31 und 86 Jahren mit einem Körpergewicht von 47 kg bis 83 kg bei einer Körpergröße von 151cm bis 185 cm. Der BMI schwankte zwischen 17,3 und 30,4.

Die Untersuchung erfolgte im Gegensatz zu den anderen drei Gruppen mit einem 320 Zeilen CT-Gerät und derselben Jodkontrastmittel-Konzentration und Kontrastmittelmenge wie bei Gruppe 3 (400 mg/ml).

1.5 Untersuchung allgemein

Für diese Studie wurde ein Votum der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz eingeholt. Die Untersuchungen fanden im Zeitraum 2010 bis 2011 im Diagnostikum Graz Süd West und an der Abteilung für Radiologie der Medizinischen Universität Graz statt. Alle Studienpatienten wurden retrospektiv ausgewählt.

Ein 64-Zeilen-Spiral-CT-Gerät (Somaton Sensation 64 Cardiac, Fa. Siemens AG, Forchheim) wurde für alle Patienten der Gruppen 1 bis 3 Untersuchungen verwendet. Die Röhrenspannung betrug 120 kV, bei einer Strahlungsenergie von 600 mAs und einem Pitch von 0,2.

Bei der Gruppe 4 kam das 320-Zeilen-Volumen-CT-Gerät (Aquilion ONE, Toshiba Medical Systems GmbH, Otawara-shi, Tochigi-ken, Japan) zum Einsatz. Die Anpassung des Röhrenstroms wurde entsprechend der Röntgenstrahlabweichung des Patienten im anterioren-posterioren und lateralen Topogramm angepasst. Das Schwächungsprofil ist Modulationsgrundlage. Toshiba errechnet die Dosismodulation (mAs Schwankungen) anhand der Daten des Topogramms und des EKGs. Bei dieser Untersuchung kamen 80-130 kV zum Einsatz. Aufgrund der Detektorbreite von 16 cm gab es keinen Pitch.

1.6 Untersuchungsablauf

1.6.1 Patientenvorbereitung

Im Vorfeld jeder Untersuchung wurden alle Patienten sorgfältig über den Untersuchungsvorgang und die Risiken aufgeklärt und das schriftliche Einverständnis eingeholt. Anschließend wurden die Patientendaten (Körpergewicht, Körpergröße, Alter) für diese Studie erhoben, sowie Herzfrequenz und Blutdruck gemessen. Da eine niedrige

und gleichmäßige Herzfrequenz für eine gute Bildqualität essentiell ist, wurden den Patienten bei einer Herzfrequenz von mehr als 60 bpm standardmäßig Beta-Blocker verabreicht. Hier wurde das Präparat Concor® (Bisoprolol) als Filmtablette nach dem unten angeführten Schema verwendet.

| Herzfrequenz | Concor® |
|---------------------|----------------------------|
| 60-70 bpm | 5 mg |
| 70-80 bpm | 10 mg |
| 80-90 bpm | 10 mg + 7,5 mg Procoralan® |

Tabelle 1: Verwendete Medikation bei zu hoher Herzfrequenz

Für das optimale Ergebnis der Untersuchung war eine Herzfrequenz von unter 60 Schlägen pro Minute zu erreichen. Aus diesem Grund wurde bei Patienten mit relativ hohem Ruhepuls (>80 bpm) zusätzlich 7,5 mg Procoralan® (Ivabradin) verabreicht.

Bei einem Blutdruck über 100 mmHg systolisch, wurde den Probanden Nitrolingual 0,4 mg-Pumpspray® (Glycerolnitrat) einmalig verabreicht.

Die Venenkanüle wurde in die rechte antecubitale Vene des Patienten gelegt und die korrekte Lage durch die Verabreichung einer geringen Menge an physiologischer Kochsalzlösung überprüft.

Anschließend legte sich der Patient mit dem Rücken, Arme hinter den Kopf gestreckt auf den CT-Tisch. Unter den Kniekehlen wurde ein gepolsterter Keil platziert, die Gantry korrekt eingestellt und die EKG-Elektroden wurden ordnungsgemäß angelegt.

1.6.2 Untersuchungsprotokolle

1.6.2.1 Calcium-Scoring

Beim Calcium-Scoring wird die Verkalkung der koronaren Gefäße quantifiziert. In dieser Studie erfolgte dies anhand des Agatston-Scores, der ein Produkt aus Fläche und Dichte darstellt. Mit Hilfe dieses Wertes kann eine Risikoabschätzung für kardiovaskuläre Ereignisse erfolgen.

Bei Probanden mit Werten über 600 wurde keine weitere Untersuchung mit einem Kontrastmittel durchgeführt, dadurch inkludiert diese Studie nur Patienten mit Werten unter 600.

1.6.2.2 Kontrastmittelprotokoll

Anschließend an das Calcium-Scoring wurde dem Patienten für die weitere Untersuchung ein Kontrastmittel verabreicht, vorausgesetzt der Agatston-Score befand sich unter 600. In dieser Studie verwendeten wir ein jodhaltiges, wasserlösliches Kontrastmittel in verschiedenen Dosierungen.

| Gruppe | Scan-Modus | Kontrastmittelprotokoll | Jod-Dosis | Flussrate |
|---------------|------------------------|---------------------------------|------------------|------------------|
| 1 | 64-Zeilen-Spiral-Modus | 320 mg J/ml (75 ml @ 5 ml/s) | 24 g | 1,6 mg/s |
| 2 | 64-Zeilen-Spiral-Modus | 350 mg J/ml (90 ml @ 5 ml/s) | 31,5 g | 1,75 mg/s |
| 3 | 64-Zeilen-Spiral- | 400 mg J/ml (70 ml @ 5 ml/s) | 28 g | 2 mg/s |

| | Modus | | | |
|----|--------------------------------------|---------------------------------|------|--------|
| 3' | 64-Zeilen- Spiral- Modus | 400 mg J/ml (70ml @ 5ml/s) | 28 g | 2 mg/s |
| 4 | 320- Zeilen- Volumen- Modus | 400 mg J/ml (70 ml @ 5 ml/s) | 28 g | 2 mg/s |

Tabelle 2: Scan-Modus, Kontrastmittelprotokoll, Jod-Dosis und Flussrate des in den verschiedenen Gruppen

Dem Patienten wurde ein venöser Zugang in die rechte antekubitale Vene gelegt und mit wenigen Millilitern physiologischer Kochsalzlösung (NaCl 0,6%) dessen korrekte Lage überprüft. Bestanden keine Probleme wurde der venöse Zugang mit dem Injektor verbunden. In diesem Gerät befanden sich sowohl eine Flasche physiologische Kochsalzlösung als auch eine Flasche des jeweiligen Kontrastmittels. Mithilfe des Injektors war eine genaue Verabreichung der gewünschten Mengen aus dem Kontrollraum möglich.

Zuerst wurden 10 ml Kontrastmittel und 40 ml NaCl 0,6% mit einer Flussrate von 5 ml/s über den Injektor verabreicht. Dieser so genannte Test-Bolus diente zur optimalen Einstellung des Beginns der Bildakquisition. Es erfolgte eine dynamische Messung wobei die Region of Interest (ROI) in die Aorta ascendens gelegt wurde. So entstand eine spezifische Anreicherungskurve des Kontrastmittels, womit die Transitzeit des Kontrastmittelbolus berechnet und der optimale Zeitpunkt für den Start der Bildakquisition erhoben werden konnte.

Nach der Bestimmung der Transitzeit wurden bei der Gruppe 1 weitere 65 ml Kontrastmittel, 80 ml bei der Gruppe 2 und 60 ml bei den Gruppen 3 und 4, sowie bei allen Gruppen zusätzlich noch 40 ml physiologische Kochsalzlösung mittels Injektor bei

gleicher Flussrate von 5 ml/s verabreicht. Die Bildakquisition wurde vom CT-Gerät automatisch nach verstrichener Transitzeit gestartet.

Ingesamt wurden bei dieser Studie somit 75 ml, 90 ml bzw. 70 ml Kontrastmittel in der gruppenspezifischen Dosierung und 80 ml NaCl 0,6% pro Proband verabreicht.

1.7 Statistische Verfahren

1.7.1 Allgemein

Folgende Parameter wurden für diese Studie statistisch ausgewertet:

- Alter
- Gewicht [kg]
- Größe [cm]
- BMI
- Herzfrequenz [bpm]
- Messungen des Kontrastmittelenhancements
 - Aorta erste Schicht [HU]
 - Aorta letzte Schicht [HU]
 - Rechtes Atrium [HU]
 - Linkes Atrium [HU]
 - Rechter Ventrikel [HU]
 - Linker Ventrikel [HU]
 - VCS [HU]
 - SD in der VCS [HU]

Die Variablen wurden deskriptiv ausgewertet und im weiteren Verlauf wurden drei unterschiedliche statistische Tests durchgeführt.

Es wurde der p-Wert des Kruskal-Wallis Tests (Wilcoxon-Test für mehr als zwei Gruppen) für alle vier Gruppen und alle Parameter erhoben. Die Frage lautete: Gibt es einen signifikanten Unterschied in Alter, Gewicht, Größe, BMI und Herzfrequenz?

Weiters wurde der p-Wert der Spearman-Korrelation für die Gruppe 1 bis Gruppe 3 ermittelt. Die Frage lautete: Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Jod-Dosis und der Kontrastierung?

Als Drittes wurde der p-Wert des Wilcoxon-Tests zwischen Gruppe 3' und Gruppe 4 erhoben, wobei Patienten über 80 kg ausgeschlossen wurden. In Gruppe 3 wurden somit 26 Patienten ausgeschlossen, in Gruppe 4 waren es zwei. Die Frage lautete: Haben die Zeilen des CT-Gerätes einen Einfluss auf die Kontrastierung?

1.7.2 Deskriptive Statistik

1.7.2.1 Gruppe 1

| | Min. | 1st. Qu. | Median | Mean | 3rd. Qu. | Max. |
|---------------------------|-------------|----------------------------|---------------|-------------|----------------------------|-------------|
| Alter [Jahre] | 20.00 | 56.00 | 67.50 | 64.23 | 75.00 | 86.00 |
| Gewicht [kg] | 50.00 | 73.75 | 82.00 | 80.27 | 88.50 | 110.00 |
| Größe [cm] | 150.0 | 161.5 | 170.0 | 168.7 | 175.2 | 189.0 |
| BMI | 17.93 | 24.91 | 27.44 | 28.28 | 31.03 | 40.00 |
| HF [bpm] | 42.00 | 60.75 | 64.50 | 65.00 | 71.50 | 90.00 |
| Aorta 1 [HU] | 129.0 | 231.8 | 278.5 | 285.9 | 324.0 | 512.0 |
| Aorta 2 [HU] | 78.0 | 157.8 | 223.5 | 215.0 | 266.0 | 316.0 |
| re. Atrium [HU] | 32.00 | 61.25 | 77.50 | 93.23 | 104.20 | 292.00 |
| re. Ventrikel [HU] | 42.00 | 63.75 | 85.00 | 102.80 | 107.50 | 285.00 |
| li. Atrium [HU] | 74.0 | 211.8 | 236.0 | 240.7 | 280.2 | 350.0 |
| li. Ventrikel [HU] | 85.0 | 225.8 | 246.5 | 255.4 | 297.0 | 390.0 |

| | | | | | | |
|--------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| VCS [HU] | 90.0 | 165.2 | 224.5 | 290.4 | 345.2 | 739.0 |
| VCS SD [HU] | 16.00 | 32.75 | 56.50 | 115.90 | 105.20 | 775.00 |

Tabelle 3: Deskriptive Statistik der Gruppe 1

1.7.2.2 Gruppe 2

| | Min. | 1st. Qu. | Median | Mean | 3rd. Qu. | Max. |
|---------------------------|-------------|----------------------------|---------------|-------------|----------------------------|-------------|
| Alter [Jahre] | 18.00 | 53.00 | 59.00 | 57.73 | 67.00 | 83.00 |
| Gewicht [kg] | 50.0 | 72.0 | 81.0 | 82.0 | 91.5 | 115.0 |
| Größe [cm] | 150.0 | 168.0 | 172.5 | 172.1 | 178.0 | 188.0 |
| BMI | 15.43 | 24.66 | 27.92 | 27.75 | 30.93 | 40.75 |
| HF [bpm] | 50.00 | 57.00 | 64.00 | 63.73 | 69.00 | 82.00 |
| Aorta 1 [HU] | 187.0 | 268.0 | 291.0 | 305.5 | 336.0 | 512.0 |
| Aorta 2 [HU] | 186.0 | 266.0 | 326.0 | 324.9 | 353.0 | 576.0 |
| re. Atrium [HU] | 38 | 80 | 140 | 178 | 271 | 457 |
| re. Ventrikel [HU] | 55 | 103 | 171 | 184 | 252 | 411 |
| li. Atrium [HU] | 188.0 | 279.0 | 318.0 | 326.6 | 369.0 | 493.0 |
| li. Ventrikel [HU] | 172.0 | 260.0 | 311.0 | 321.8 | 368.0 | 501.0 |
| VCS [HU] | 140.0 | 245.0 | 672.0 | 651.4 | 971.0 | 1549.0 |
| VCS SD [HU] | 29.0 | 75.0 | 204.0 | 247.5 | 393.0 | 777.0 |

Tabelle 4: Deskriptive Statistik der Gruppe 2

1.7.2.3 Gruppe 3

| | Min. | 1st. Qu. | Median | Mean | 3rd. Qu. | Max. |
|---------------------------|-------------|----------------------------|---------------|-------------|----------------------------|-------------|
| Alter [Jahre] | 31.0 | 54.0 | 60.0 | 59.8 | 65.0 | 82.0 |
| Gewicht [kg] | 50.00 | 65.75 | 79.50 | 79.16 | 85.00 | 129.00 |
| Größe [cm] | 143.0 | 165.0 | 168.5 | 169.4 | 175.8 | 190.0 |
| BMI | 19.53 | 24.72 | 26.32 | 27.52 | 29.93 | 44.12 |
| HF [bpm] | 44.00 | 57.00 | 62.00 | 63.64 | 71.00 | 111.00 |
| Aorta 1 [HU] | 230.0 | 275.0 | 329.0 | 336.8 | 376.0 | 498.0 |
| Aorta 2 [HU] | 131.0 | 238.0 | 281.0 | 307.3 | 361.0 | 641.0 |
| re. Atrium [HU] | 40.00 | 60.00 | 66.00 | 82.84 | 94.00 | 225.00 |
| re. Ventrikel [HU] | 34.0 | 67.0 | 79.0 | 100.6 | 122.0 | 328.0 |
| li. Atrium [HU] | 181.0 | 275.0 | 346.0 | 340.3 | 380.0 | 605.0 |
| li. Ventrikel [HU] | 215 | 283 | 341 | 345 | 396 | 570 |
| VCS [HU] | 77.0 | 151.0 | 195.0 | 295.9 | 403.0 | 1268.0 |
| VCS SD [HU] | 19.00 | 33.00 | 63.00 | 98.96 | 124.00 | 804.00 |

Tabelle 5: Deskriptive Statistik der Gruppe 3

1.7.2.4 Gruppe 3'

| | Min. | 1st. Qu. | Median | Mean | 3rd. Qu. | Max. |
|----------------------|-------------|----------------------------|---------------|-------------|----------------------------|-------------|
| Alter [Jahre] | 42.00 | 54.25 | 60.50 | 61.64 | 69.50 | 82.00 |
| Gewicht [kg] | 50.00 | 63.25 | 70.50 | 68.95 | 76.75 | 80.00 |

| | | | | | | |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Größe [cm] | 143.00 | 161.00 | 168.00 | 166.40 | 173.00 | 180.00 |
| BMI | 19.53 | 23.62 | 24.95 | 24.90 | 26.45 | 30.39 |
| HF [bpm] | 44.00 | 52.75 | 59.00 | 60.64 | 68.00 | 88.00 |
| Aorta 1 [HU] | 239.00 | 304.00 | 362.00 | 366.80 | 434.80 | 498.00 |
| Aorta 2 [HU] | 199.00 | 250.00 | 283.00 | 323.00 | 356.80 | 641.00 |
| re. Atrium [HU] | 42.00 | 63.25 | 74.00 | 80.59 | 92.00 | 154.00 |
| re. Ventrikel [HU] | 50.00 | 73.25 | 82.00 | 94.64 | 111.20 | 185.00 |
| li. Atrium [HU] | 181.00 | 325.20 | 361.00 | 367.80 | 428.00 | 605.00 |
| li. Ventrikel [HU] | 215.00 | 310.00 | 381.00 | 371.50 | 422.80 | 570.00 |
| VCS [HU] | 112.00 | 146.00 | 186.00 | 253.10 | 255.50 | 700.00 |
| VCS SD [HU] | 19.00 | 31.25 | 55.00 | 74.18 | 111.20 | 199.00 |

Tabelle 6: Deskriptive Statistik der Gruppe 3'

1.7.2.5 Gruppe 4

| | Min. | 1st. Qu. | Median | Mean | 3rd. Qu. | Max. |
|----------------------|-------------|----------------------------|---------------|-------------|----------------------------|-------------|
| Alter [Jahre] | 31.00 | 54.00 | 63.50 | 63.41 | 76.00 | 86.00 |
| Gewicht [kg] | 47.0 | 62.0 | 70.0 | 68.7 | 75.0 | 83.0 |
| Größe [cm] | 151.0 | 161.2 | 165.0 | 166.3 | 170.8 | 185.0 |
| BMI | 17.26 | 23.06 | 24.33 | 24.86 | 27.30 | 30.36 |
| HF [bpm] | 46.00 | 59.00 | 63.00 | 67.17 | 73.00 | 141.00 |
| Aorta 1 [HU] | 95.0 | 410.5 | 499.0 | 496.7 | 574.8 | 841.0 |

| | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Aorta 2 [HU] | 56.0 | 419.5 | 506.0 | 502.7 | 594.0 | 887.0 |
| re. Atrium [HU] | 38.0 | 107.2 | 141.0 | 183.0 | 186.0 | 636.0 |
| re. Ventrikel [HU] | 64.0 | 120.2 | 153.5 | 186.2 | 219.5 | 510.0 |
| li. Atrium [HU] | 123.0 | 363.5 | 455.5 | 455.8 | 539.0 | 753.0 |
| li. Ventrikel [HU] | 100.0 | 363.2 | 451.0 | 444.7 | 521.5 | 782.0 |
| VCS [HU] | 106.0 | 190.0 | 247.5 | 347.9 | 330.8 | 1641.0 |
| VCS SD [HU] | 20.00 | 30.25 | 39.00 | 77.46 | 58.50 | 643.00 |

Tabelle 7: Deskriptive Statistik der Gruppe 4

2 Ergebnisse

Der Kruskal-Wallis-Test für alle vier Gruppen, unter Berücksichtigung der Selektierung von Gruppe 3 in 3' zum Vergleich mit der Gruppe 4, zeigte keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Alters, Gewichts, Größe, BMI und Herzfrequenz.

Am ersten Messort der Aorta (Aorta 1), den noch am kranialsten abgebildeten Abschnitt der Aorta ascendens, zeigten sich signifikante Unterschiede des Kontrastmittel-Enhancements ($p = 5.662137e-15$). Je höher die Kontrastmittelkonzentration, desto höher war auch das Enhancement. Das heißt, die Kontrastierung nahm von Gruppe 1 bis zur Gruppe 4 stetig zu. Der p-Wert der Spearman-Korrelation für die Gruppen 1 bis 3 betrug $2.134611e-3$, was bedeutete, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Jod-Dosis und des Enhancements bestand. Auch der Wilcoxon-Test der Gruppe 3' und 4 zeigte einen signifikanten Einfluss der Zeilen des CT-Gerätes bzw. des Scanmodus auf die Kontrastierung ($p = 8.451705e-5$).

| | Median | Mean |
|------------------|---------------|-------------|
| Gruppe 1 | 278.5 HU | 285.9 HU |
| Gruppe 2 | 291 HU | 305.5 HU |
| Gruppe 3 | 329 HU | 336.8 HU |
| Gruppe 3' | 362 HU | 366 HU |
| Gruppe 4 | 499 HU | 496.7 HU |

Tabelle 8: Ergebnisse im Messbereich der Aorta descendens (Aorta 1)

Am zweiten Messort der Aorta (Aorta 2), den noch am kaudalsten abgebildeten Abschnitt der Aorta descendens, zeigte die Gruppe 2 überraschenderweise eine höhere Kontrastierung als die Gruppe 3. Das höchste Enhancement fand sich wiederum in der Gruppe 4. In dieser ROI gab es zwischen allen Gruppen einen signifikanten

Zusammenhang zwischen dem Enhancement und dem verwendeten Kontrastmittelprotokoll ($p < 0,005$). Zwischen den Gruppen 1 bis 3 gab es einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Jod-Dosis und dem Grad der Kontrastierung ($p = 1.710155e-5$) und auch die Anzahl der verwendeten Zeilen zeigte in den Gruppen 3' und 4 einen bedeutsamen Einfluss auf das Enhancement ($p = 1.014447e-5$).

| | Median | Mean |
|------------------|---------------|-------------|
| Gruppe 1 | 223.5 HU | 215 HU |
| Gruppe 2 | 326 HU | 324.6 HU |
| Gruppe 3 | 281 HU | 307.3 HU |
| Gruppe 3' | 283 HU | 323 HU |
| Gruppe 4 | 506 HU | 502.7 HU |

Tabelle 9: Ergebnisse im Messbereich der Aorta descendens (Aorta 2)

Die Ergebnisse im rechten Vorhof (re. Atrium.) zeigten dasselbe Bild wie bei der ROI Aorta 2. Hier waren die Messwerte in Gruppe 2 wiederum signifikant höher als in der Gruppe 3 und die größte Kontrastierung zeigte sich in der Gruppe 4. Der p-Wert betrug $1.631465e-10$, was für eine Interaktion zwischen dem Kontrastmittelprotokoll und dem Enhancement spricht. In diesem Punkt zeigte sich kein charakteristischer Zusammenhang der Gruppen 1 bis 3 in Bezug auf die Jod-Dosis und deren Einfluss auf das Kontrastmittel-Enhancement ($p = 3.969315e-1$). Hingegen spielte auch hier der Scanmodus der unterschiedlichen CT-Geräte eine bedeutende Rolle ($p = 1.113889e-6$). Es ergaben sich signifikant höhere Werte bei dem 320-Zeilen CT-Gerät (Volumenmodus) als in der vergleichbaren Gruppe 3' mit dem 64-Zeilen CT-Gerät (Spiralmodus).

| | Median | Mean |
|-----------------|---------------|-------------|
| Gruppe 1 | 77.5 HU | 93.23 HU |

| | | |
|------------------|--------|----------|
| Gruppe 2 | 140 HU | 178 HU |
| Gruppe 3 | 66 HU | 82.84 HU |
| Gruppe 3' | 74 HU | 80.59 HU |
| Gruppe 4 | 141 HU | 183 HU |

Tabelle 10: Ergebnisse im Messbereich des rechten Vorhofs (re. Atrium)

In der ROI Messung der rechten Herzkammer (re. Ventrikel) zeigten die Gruppen 2 und 4 die signifikant höchsten und annähernd selben Messwerte. Außerdem fanden wir hier in der Gruppe 1 im Mittel ein etwas höheres Enhancement als in der Gruppe 3. Ebenfalls ließen sich Verbindungen des Kontrastmittelprotokolls mit dem Grad der Kontrastmittel-Anreicherung erkennen ($p = 3.733893e-10$). Durch die hohen Werte in der Gruppe 2 gab es auch hier (Gruppe 1 bis 3) wiederum keinen charakteristischen Zusammenhang zwischen dem verwendeten Kontrastmittelprotokoll und der Kontrastierung in der rechten Herzkammer ($p = 8.565462e-1$). Zwischen den Gruppen 3' und 4 konnten wir eine signifikante Abhängigkeit des Enhancements und des verwendeten CT-Gerätes feststellen ($p = 5.175003e-6$).

| | Median | Mean |
|------------------|---------------|-------------|
| Gruppe 1 | 85 HU | 102.8 HU |
| Gruppe 2 | 171 HU | 184 HU |
| Gruppe 3 | 79 HU | 100.6 HU |
| Gruppe 3' | 82 HU | 94.64 HU |
| Gruppe 4 | 153.5 HU | 186.2 HU |

Tabelle 11: Ergebnisse im Messbereich rechten Herzkammer (re. Ventrikel)

Im linken Vorhof (li. Atrium) war die Kontrastierung in Gruppe 1 am niedrigsten und stieg bis zum höchsten Messwert in der Gruppe 4 signifikant an. Hier führten sowohl die verwendeten Kontrastmittelprotokolle zwischen allen Gruppen ($p = 1.8873779e-15$), der Gruppe 1 bis 3 ($p = 3.720524e-8$), als auch die verwendete Zeilenanzahl der CT-Geräte (Gruppe 3' und 4) ($p = 7.829746e-3$) zu signifikanten Unterschieden des Kontrastmittel-Enhancements.

| | Median | Mean |
|------------------|---------------|-------------|
| Gruppe 1 | 236 HU | 240.7 HU |
| Gruppe 2 | 318 HU | 326.6 HU |
| Gruppe 3 | 346 HU | 340.3 HU |
| Gruppe 3' | 361 HU | 367.8 HU |
| Gruppe 4 | 455.5 HU | 455.8 HU |

Tabelle 12: Ergebnisse im Messbereich des linken Vorhofs (li. Atrium)

Die linke Herzkammer (li. Ventrikel) zeigte den zu erwartenden kontinuierlichen und signifikanten Anstieg des Kontrastmittel-Enhancements von Gruppe 1 bis Gruppe 4. Auch an diesem Messpunkt fanden wir einen charakteristischen Zusammenhang zwischen der Kontrastierung und der Anzahl der Zeilen in den Gruppen 3' und 4 ($p = 9.187545e-3$), des Kontrastmittelprotokolls in allen Gruppen ($p = 6.106227e-14$) und zwischen den Gruppen 1, 2 und 3 ($p = 1.487235e-7$).

| | Median | Mean |
|-----------------|---------------|-------------|
| Gruppe 1 | 246.5 HU | 255.4 HU |
| Gruppe 2 | 311 HU | 321.8 HU |

| | | |
|------------------|--------|----------|
| Gruppe 3 | 341 HU | 345 HU |
| Gruppe 3' | 381 HU | 371.5 HU |
| Gruppe 4 | 451 HU | 444.7 HU |

Tabelle 13: Ergebnisse im Messbereich der linken Herzkammer (li. Ventrikel)

Im letzten Messpunkt, der VCS fanden wir in der Gruppe 2 die mit Abstand höchsten Werte, gefolgt von der Gruppe 4. Die Gruppen 1 und 3 zeigten die in etwa gleich hohe Kontrastierung in diesem Bereich. Der p-Wert (= 5.277865e-5) ließ auch hier auf eine charakteristische Abhängigkeit des Kontrastmittel-Enhancements von dem verwendeten Kontrastmittelprotokoll schließen. In diesem Bereich zeigten weder die Anzahl der Zeilen ($p = 9.699212e-2$) noch das Kontrastmittelprotokoll ($p = 5.291252e-1$) einen signifikanten Einfluss auf das Kontrastmittel-Enhancement.

| | Median | Mean |
|------------------|---------------|-------------|
| Gruppe 1 | 224.5 HU | 290.4 HU |
| Gruppe 2 | 672 HU | 651.4 HU |
| Gruppe 3 | 195 HU | 295.5 HU |
| Gruppe 3' | 186 HU | 253.1 HU |
| Gruppe 4 | 247.5 HU | 347.9 HU |

Tabelle 14: Ergebnisse im Messbereich der VCS

Die SD in der VCS zeigte zwischen allen Gruppen einen signifikanten Unterschied ($p = 4.260251e-7$). Für die Gruppen 1 bis 3 ergab die Spearman-Korrelation keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Kontrastmittelprotokoll und der SD ($p = 9.505663e-1$). Zwischen den Gruppen 3' und 4, ergab der Wilcoxon-Test keine

signifikante Verbindung zwischen der verwendeten Anzahl der Zeilen im CT-Gerät und der SD ($p = 1.845146e-1$).

3 Diskussion

Aus den Ergebnissen unserer Studie können wir nun die Schlussfolgerung ziehen, dass die Verabreichung von höheren Jodflussraten zu einer signifikanten Erhöhung des Kontrastmittel-Enhancements in allen Messbereichen führt. Dieses zeigt sich bei der quantitativen Evaluierung der einzelnen Gruppen durch den Anstieg des Enhancements.

Cademartiri F. et al. (7) belegte in seiner Untersuchung ebenfalls eine statistisch signifikante Zunahme der Kontrastmittel Anreicherung bei Verwendung einer höheren Jodflussrate. Er verglich Ultravist 370® mit Iomeron 400®, jeweils 100 ml bei einer Flussrate von 4 ml/s, und kam zu dem Schluss, dass Iomeron 400® zu einem deutlichen Anstieg der Kontrastierung in den Koronararterien und der Aorta führt. Im Unterschied zu unserer Studie (Flow Rate: 5 ml/s), verwendeten Cademartiri F. et al. eine etwas langsamere Flussrate (4 ml/s). Es zeigte sich in allen gemessenen ROIs der Gruppe mit Iomeron 400® ein signifikant höheres Kontrastmittel-Enhancement.

In der ROI Aorta 1. zeigt sich eine stetige Steigerung der Kontrastierung von Gruppe 1 (285.9 HU), über die Gruppen 2 (305.5 HU) und 3 (336.8 HU), bis hin zur Gruppe 4 (496.7 HU). Auch in weiteren Messpunkten wie dem linken Vorhof (240.7 HU; 326.6 HU; 340.3 HU; 455.8 HU) und dem linken Ventrikel (255.4 HU; 321.8 HU; 345 HU; 444.7 HU) lässt sich dieser Trend erkennen.

Auch Behrendt FF. et al. (8) kam in seiner Studie zu ähnlichen Ergebnissen. In dieser Studie verglich er das Kontrastmittel-Enhancement zwischen einer Gruppe mit 300 mg Jod/ml und einer Gruppe mit 400 mg Jod/ml. Es zeigte sich eine höhere Kontrastierung in der linken Kammer des Herzens sowie der Aorta in der Gruppe mit der höheren Jod-Dosis.

Es gibt jedoch Ausnahmen in mehreren Messbereichen, in denen die Messwerte der Gruppe 2 aus diesem Schema fallen. So kommt es in der ROI Aorta 2 in der Gruppe 2 zu einem höheren Enhancement (324.9 HU) als in der Gruppe 3 (307.3 HU), obwohl in Gruppe 3 eine höhere Jodflussrate verwendet wurde. Dies fällt auch im rechten Vorhof

(93.3 HU; **178 HU**; 82.84 HU; 183 HU), in der rechten Herzkammer (102.8 HU; **184 HU**; 100.6 HU; 186.2 HU) und in der VCS (290.4 HU; **651.4 HU**; 295.9 HU; 347.9 HU) auf.

Behrendt FF. et al. (8) kam ebenfalls zu ähnlichen Resultaten. Im rechten Herzen waren die Werte der Kontrastmittel Anreicherung bei dem niedrig konzentrierten Kontrastmittel (300 mg/ml) höher als beim hochgradiger konzentrierten (400 mg/ml).

Da die Bildqualität nicht nur von den Patienten-Faktoren, sondern auch von der CT-Untersuchung abhängt, sind möglicherweise diese Unregelmäßigkeiten durch ein nicht perfekt abgestimmtes Untersuchungsprotokoll zu erklären (2). Bei einer zu frühen Bildakquisition könnte sich das Kontrastmittel noch zum Großteil im rechten Herzen, beziehungsweise in der VCS befunden haben, wo es eine stärkere Anreicherung verursachte. Durch die Verabreichung eines größeren Kontrastmittel Volumens in der Gruppe 2 von 90 ml (Gruppe 1: 75 ml; Gruppe 3 und 4: 70 ml) kommt es zu einem späteren Kontrastmittel Peak in den ROI, was durch ein Model nach Bae-Heiken-Brink in der Studie von Weininger M. et al. belegt werden konnte (2,9). Daraus kann man schlussfolgern, dass möglicherweise eine zu frühe Bildakquisition für das hohe Enhancement im rechten Herzen verantwortlich ist.

Ein anderer Erklärungsversuch für die höhere Kontrastierung der Gefäße durch ein Kontrastmittel mit niedrigerer Jod-Dosis könnte die unterschiedliche Viskosität sein. Durch die Steigerung der Jod-Konzentration kommt es ebenfalls zu einer Steigerung der Viskosität, was vor allem in der frühen Phase der Bildakquisition zu einer größeren Anreicherung führen könnte (5).

Eine weitere wichtige Erkenntnis ist, dass es zu signifikanten Unterschieden des Kontrastmittel-Enhancements bei gleicher Jod-Dosis (400 mg/ml) zwischen dem 64-slice helical CT-Gerät in der Gruppe 3' und dem 320-slice volume CT-Gerät in der Gruppe 4 kommt. In der Gruppe 3' zeigen sich im Vergleich zur Gruppe 4 deutlich niedrigere Kontrastierungen in allen Messbereichen.

| | Gruppe 3' | Gruppe 4 |
|----------------------|------------------|-----------------|
| Aorta 1 | 366.8 HU | 496.7 HU |
| Aorta 2 | 323 HU | 502.7 HU |
| re. Atrium | 80.59 HU | 183 HU |
| re. Ventrikel | 94.64 HU | 186.2 HU |
| li. Atrium | 367.8 HU | 455.8 HU |
| li. Ventrikel | 371.5 HU | 444.7 HU |
| VCS | 253.1 HU | 347.9 HU |

Tabelle 15: Vergleich des Kontrastmittel-Enhancements zwischen der Gruppe 3' und der Gruppe 4

Während es bei der Anreicherung des Kontrastmittels Unterschiede zwischen den beiden CT-Geräten gibt, zeigen sich keine signifikanten Abweichungen ($p = 1.845146e-1$) in der SD. Das bedeutet, dass der Kontrastmittel-Bolus in der VCS in der Gruppe 3' und der Gruppe 4 die gleiche Homogenität aufweist.

Da das 320-slice Volumen CT-Gerät mit einer Detektorlänge von 16 cm das gesamte Herz erfasst, ist es möglich mit nur einer einzelnen Rotation dieses als Ganzes abzubilden. Dadurch reduziert sich die Zeit für die Bildakquisition auf unter eine Sekunde und das Kontrastmittel muss nicht mehr über längere Zeit im Herzen angereichert sein. Die Akquisition des Bildes kann exakt während des Kontrastmittel Peaks in der ROI erfolgen.

Aus diesen Erkenntnissen können wir schließen, dass bei den moderneren 320-slice Volumen CT-Geräten im Vergleich zu den 64-slice Spiral CT-Geräten eine deutlich geringere Dosis an Jod verwendet werden kann ohne einen Verlust des Kontrastmittel-Enhancements in Kauf nehmen zu müssen. Durch den Ausschluss aller Probanden über 80 kg in der Gruppe 3' konnten wir auch vergleichen, ob der BMI einen Einfluss auf das Enhancement mit sich bringt. Insgesamt waren in dieser Gruppe 22 Patienten leichter als

80 kg, 19 schwerer und bei sieben fehlte die Gewichtsangabe. Beim Vergleich der Gruppe 3' (mittlerer BMI 24.9) mit der Gruppe 3 (mittlerer BMI 27.5) sehen wir in der Gruppe 3' eine deutliche Zunahme des Enhancements in der Aorta und dem linken Herzen. Weiters zeigen sich in dieser geringfügig niedrigere Werte im rechten Herzen und deutlich niedrigere in der VCS.

| | Gruppe 3' | Gruppe 3 | Differenz [%] |
|----------------------|------------------|-----------------|----------------------|
| Aorta 1 | 366.8 HU | 336.8 HU | +8.9% |
| Aorta 2 | 323 HU | 307.3 HU | +5.1% |
| re. Atrium | 80.59 HU | 82.94 HU | -2.8% |
| re. Ventrikel | 94.64 HU | 100.6 HU | -5.9% |
| li. Atrium | 367.8 HU | 340.3 HU | +8.1% |
| li. Ventrikel | 371.5 HU | 345 HU | +7.7% |
| VCS | 253.1 HU | 295.9 HU | -14.5% |

Tabelle 16: Einfluss des BMI auf das Kontrastmittel-Enhancement

Daraus schließen wir, dass ein niedrigerer BMI zu einer besseren Kontrastierung bei gleicher Jod-Dosis führt. Zu diesem Ergebnis kamen auch andere Studien wie zum Beispiel Bae, K.T. et al. (10) oder Husmann, L. et al (11). Bae kam zu dem Schluss, dass es bei einem niedrigeren BMI zu einer signifikant höheren Anreicherung von Kontrastmittel in der Aorta kommt und dass die Kontrastmitteldosierung an das Körpergewicht angepasst werden sollte. Die Studie von Husmann zeigte einen geringeren Bedarf an Kontrastmittel bei Probanden mit einem niedrigeren BMI für denselben Grad der Kontrastierung

Leider ist der Vergleich der Gruppe 3' und der Gruppe 3 nicht sehr aussagekräftig, da die Gruppe 3 auch alle Probanden der Gruppe 3' enthält. Außerdem ist die Gruppengröße mit

22 Patienten nicht ausreichend groß und der Unterschied im BMI nicht sehr ausgeprägt. Dennoch sieht man den Trend, dass ein höherer BMI zu einer schwächeren Kontrastierung führt.

In weiteren Studien wäre es interessant herauszufinden, ob sich die Kontrastmittelkonzentration auf die Beschwerden der Patienten auswirkt. 2008 zeigte Mühlenbruch G. et al. (5), dass es bei Probanden, die 300 mg/ml Jod verabreicht bekamen zu mehr Beschwerden führte, als bei jenen mit 375 mg/ml. Die häufigsten Nebenwirkungen laut Schild HH. et al. (12) waren Hitzegefühl, Übelkeit, Erbrechen, Schwindel, Tachykardie, Arrhythmie, Kopfschmerzen, Atemprobleme, Urticaria und allergische Reaktionen. Jedoch verglich er nicht die verschiedenen Kontrastmittelkonzentrationen, sondern den Unterschied zwischen monomeren und dimeren Kontrastmitteln.

4 Conclusion

Am Ende unserer Studie können wir sagen, dass es beim Herz-CT Unterschiede zwischen den beiden verschiedenen CT-Geräten und deren Scan-Modi gibt. Der Volumen-Modus des 320-Zeilen-Volumen-CT-Gerätes ermöglichte im Vergleich zum Spiralmodus des 64-Zeilen-CT-Gerätes ein signifikant höheres Enhancement in allen Messbereichen ohne signifikanten Verlust der Homogenität des Kontrastmittel-Bolus.

Weiters können wir sagen, dass eine höhere Jodflussrate zu einer Erhöhung des Kontrastmittel-Enhancements in der Aorta und dem linken Herzen führt. Im rechten Herzen und in der VCS konnte dies jedoch nicht bestätigt werden.

Mit Hilfe dieser und anderer Studien und der Weiterentwicklung im Bereich der Technik wird es in Zukunft hoffentlich möglich sein die durch das Kontrastmittel verursachten Nebenwirkungen sowie die Kosten für die CT-Untersuchung zu minimieren.

5 Literaturverzeichnis

- (1) Seifarth H, Puesken M, Kalafut JF, Wienbeck S, Wessling J, Maintz D, et al. Introduction of an individually optimized protocol for the injection of contrast medium for coronary CT angiography. *Eur Radiol* 2009 Oct;19(10):2373-2382.
- (2) Weininger M, Barraza JM, Kemper CA, Kalafut JF, Costello P, Schoepf UJ. Cardiothoracic CT angiography: current contrast medium delivery strategies. *AJR Am J Roentgenol* 2011 Mar;196(3):W260-72.
- (3) Globits S, Hergan K, Baumgartner H, Friedrich G, Frank H, Glogar HD, Mori M, Sochor H, Bader T, Frühwald F, Kopsa W, Loewe C, Mostbeck G, Sommer O. Aktueller Stellenwert der MSCT der Koronargefäße: Klinischer Leitfaden (2007) der Österreichischen Gesellschaften für Kardiologie und Radiologie. *Journal für Kardiologie - Austrian Journal of Cardiology*, *J KARDIOL* 2007:132-140.
- (4) Nakaura T, Awai K, Yauaga Y, Nakayama Y, Oda S, Hatemura M, et al. Contrast injection protocols for coronary computed tomography angiography using a 64-detector scanner: comparison between patient weight-adjusted- and fixed iodine-dose protocols. *Invest Radiol* 2008 Jul;43(7):512-519.
- (5) Muhlenbruch G, Behrendt FF, Eddahabi MA, Knackstedt C, Stanzel S, Das M, et al. Which Iodine concentration in chest CT?--a prospective study in 300 patients. *Eur Radiol* 2008 Dec;18(12):2826-2832.
- (6) Alkadhi H, Leschka S, Marincek B, Flohr T editors. *Praxisbuch Herz-CT: Grundlagen - Durchführung - Befundung*. 1st ed.: Springer Medizin Verlag Heidelberg; 2009.
- (7) Cademartiri F, de Monye C, Pugliese F, Mollet NR, Runza G, van der Lugt A, et al. High iodine concentration contrast material for noninvasive multislice computed tomography coronary angiography: iopromide 370 versus iomeprol 400. *Invest Radiol* 2006 Mar;41(3):349-353.
- (8) Behrendt FF, Plumhans C, Keil S, Muhlenbruch G, Das M, Seidensticker P, et al. Contrast enhancement in chest multidetector computed tomography: intraindividual comparison of 300 mg/ml versus 400 mg/ml iodinated contrast medium. *Acad Radiol* 2009 Feb;16(2):144-149.
- (9) Bae KT, Heiken JP, Brink JA. Aortic and hepatic contrast medium enhancement at CT. Part I. Prediction with a computer model. *Radiology* 1998 Jun;207(3):647-655.
- (10) Bae KT, Seeck BA, Hildebolt CF, Tao C, Zhu F, Kanematsu M, et al. Contrast enhancement in cardiovascular MDCT: effect of body weight, height, body surface area, body mass index, and obesity. *AJR Am J Roentgenol* 2008 Mar;190(3):777-784.
- (11) Husmann L, Herzog BA, Burkhard N, Valenta I, Burger IA, Gaemperli O, et al. Low-dose coronary CT angiography with prospective ECG triggering: validation of a contrast

material protocol adapted to body mass index. AJR Am J Roentgenol 2009 Sep;193(3):802-806.

(12) Schild HH, Kuhl CK, Hubner-Steiner U, Bohm I, Speck U. Adverse events after unenhanced and monomeric and dimeric contrast-enhanced CT: a prospective randomized controlled trial. Radiology 2006 Jul;240(1):56-64.