

Jens Hansen
Dr. sc. hum.

Quantitative Dual-Energy Computertomographie: Systematische Untersuchung der Bildqualität von Dual-Energy Mischbildern und der Quantifizierbarkeit absoluter Jodkonzentrationen

Promotionsfach: Radiologie

Doktorvater: Prof. Dr. med. Hans-Ulrich Kauczor

Die Dual-Energy Computertomographie (DECT) erhält durch die Bereitstellung quantitativer Bildgebung immer größeren Einzug in die klinische Routine. Als technischer Goldstandard ist dabei die Lösung mit zwei Röntgenröhren-Detektor-Systemen (Dual-Source CT, DSCT) etabliert. Die DE-Bildgebung ermöglicht Materialien auf Grund ihrer spektralen Eigenschaften voneinander zu unterscheiden und zu quantifizieren (3-Materialzerlegung). Quantitative Jodkarten haben ihren Mehrwert in der Diagnostik bereits gezeigt, erfordern aber eine verlässliche Bestimmung der Kontrastmittelkonzentration im Patienten basierend auf CT-Werten, die durch jodhaltiges Kontrastmittel stark beeinflusst werden.

Das Ziel dieser Arbeit war daher eine umfangreiche und systematische Untersuchung der Quantifizierbarkeit von jodhaltigem Kontrastmittel. Weiterhin wird die Bildqualität von linearen DE-Mischbildern in Hinblick auf die Wahl des DE-Mischungsverhältnisses evaluiert.

Für die experimentelle Untersuchung standen zwei moderne, handelsübliche DSCTs zur Verfügung (Somatom[®] Definition Flash und Somatom[®] Force, Siemens Medical Solutions, Forchheim, Germany). Beide Geräte stellen dem Anwender je drei DE-Akquisitionsmodi zur Verfügung (Somatom[®] Definition Flash: 80/140 kV_p, 80/Sn140 kV_p, 100/Sn140 kV_p; Somatom[®] Force: 80/Sn150 kV_p, 90/Sn150 kV_p, 100/Sn150 kV_p).

Mit allen sechs DE-Akquisitionsmodi wurde jeweils eine Serie von bis zu 71 jodhaltigen Kontrastmittelpfropfen mit Jodkonzentrationen von 0,0 mg/ml bis 15,0 mg/ml in zwei experimentellen Aufbauten untersucht: Eine Messung in der nur das Probengemisch im Zentrum des Gesichtsfeldes ohne weitere Absorption abgebildet wird (Freiluft) und eine Messung in einem 32 cm-Acrylphantom, das acht über das Gesichtsfeld angeordnete Messpositionen bereitstellt. Der CT-Wert wurde in Abhängigkeit der Jodkonzentration, des Absorptionsquerschnittes, des Gefäßdurchmessers und der Position im Gesichtsfeld untersucht.

Für die Ermittlung der optimalen DE-Mischungsverhältnisse im DE-Mischbild wurde das Acrylphantom für fünf verschiedenen Strahlenexpositionen ($CTDI_{vol} = \{10, 15, 20, 25, 30\}$ mGy) mit allen sechs DE-Akquisitionsmodi und einer Single-Energy (SE) 120-kV_p Akquisition dosisäquivalent aufgenommen.

Die Auswertung der Bilddaten erfolgte mit eigener Software, die eine systematische Untersuchung der Pixelwerte aus (DE)CT-Bildern auf Basis von Region-of-Interests (ROI) ermöglicht. Für die Analyse optimaler DE-Mischungsverhältnisse wurden 100 lineare DE-Mischbilder mit einem Mischungsverhältnis α zwischen 0,0 und 1,0 automatisch generiert, in ROIs in Signalregion (jodhaltiges Kontrastmittel) und Hintergrundregion (NaCl-Lösung) ausgewertet und mit denen aus dem 120-kV_p SE-Bild verglichen. Analysiert wurden die DE-Mischverhältnisse α , die zum gleichen CT-Wert, zum gleichen/minimalen Bildrauschen, zum gleichen/maximalen Kontrast-zu-Rausch Verhältnis (CNR) und

zum gleichen/maximalen Signal-zu-Rausch Verhältnis (SNR) wie im 120-kV_p Bild führen und in Abhängigkeit der Strahlenexposition, der Jodkonzentration und des DE-Akquisitionsmodus mit den Standardwerten des Herstellers verglichen.

Die Jodquantifizierung wurde mit zwei Softwarelösungen (kommerzielle Software LungPBV, Syngo.Via[®], Siemens Medical Solutions, Forchheim, Deutschland und eigene Software) auf Basis der 3-Materialzerlegung durchgeführt. Modifizierte Parameter der 3-Materialzerlegung werden aus den Ergebnissen der CT-Werte in Abhängigkeit der Jodkonzentration gewonnen und neben den Standardwerten des Herstellers für die Generierung von DE-Jodkarten verwendet.

Als zentrales Ergebnis wird festgehalten, dass CT-Werte linear mit der Jodkonzentration ansteigen. Dieser Anstieg ist stark von der Röhrenspannung abhängig und wird durch zusätzliche Absorption im Gesichtsfeld abgeschwächt. Während die Position im Gesichtsfeld keinen Einfluss auf den CT-Wert hat, verändert die Größe des Gefäßdurchmessers vor allem die Messunsicherheit des CT-Wertes.

Optimale DE-Mischungsverhältnisse unterscheiden sich für viele Bildqualitätsparameter signifikant von den Standardwerten des Herstellers. Es zeigen sich deutliche Abhängigkeiten vom DE-Akquisitionsmodus und der Kontrastmittelkonzentration in der Signalregion. Die Bildqualität ist stark von der Strahlenexposition abhängig, beeinflusst optimale DE-Mischungsverhältnisse aber nicht. Mit der Wahl von optimalen DE-Mischungsverhältnissen ist eine Verbesserung der Bildqualität im Vergleich zum dosisäquivalenten 120-kV_p SE-Bild möglich, was für eine Dosisersparnis für den Patienten genutzt werden könnte.

Die aus der Untersuchung der CT-Werte extrahierten Parameter für die 3-Materialzerlegung, unterscheiden sich deutlich von denen des Herstellers für die Messung in Freiluft und sind vergleichbar mit denen der Messung im Phantom. Am besten gelingt die Jodquantifizierung mit modifizierten Parametern der 3-Materialzerlegung in der kommerziellen Software für beide experimentelle Aufbauten. Die Jodquantifizierung erweist sich als unabhängig von der Messposition im Gesichtsfeld und eine verlässliche Quantifizierung ist ab einer nominalen Jodkonzentration von 3,0 mg/ml innerhalb eines Gefäßdurchmessers von 3,0 mm (5,0 mm) in Freiluft (im Phantom) möglich. Für kleinere Gefäßdurchmesser wird die Nominalkonzentration deutlich unterschätzt. Der DE-Akquisitionsmodus 80/Sn140 kV_p liefert die besten Ergebnisse mit dem quantitativen DE-spezifischen Rekonstruktionskern D30f und der kommerziellen Software. Die eigene Softwarelösung weist Schwächen in der Jodquantifizierung für die DE-Akquisitionsmodi des Somatom[®] Definition Flash auf: Es tritt eine systematische Überschätzung der Nominalkonzentration auf. Die Ergebnisse deuten eine bessere Jodquantifizierbarkeit mit dem Somatom[®] Force und eigener Software an.

Diese Arbeit stellt eine systematische und umfassende Untersuchung in Hinblick auf das Verhalten von CT-Werten in Abhängigkeit der Jodkonzentration bereit. Die Ergebnisse bilden eine grundlegende wissenschaftliche Basis für weitere physikalische und klinische Untersuchungen in Hinblick auf die Quantifizierbarkeit absoluter Jodkonzentrationen und die ihre Anwendungen in der klinischen Routine insbesondere im Hinblick auf die Kontrastmittelverteilung im Patienten. Die Verwendung der in dieser Arbeit ermittelten optimalen DE-Mischungsverhältnisse ermöglicht eine Verbesserung der Bildqualität ohne die Erhöhung der Strahlenbelastung für den Patienten.