

Neha Vats
Dr. sc. hum.

Optimization and Standardization of computed tomography perfusion and development of low radiation exposure CT perfusion alternative for clinical applications in oncologic imaging

Fach/Einrichtung: Medizinische Physik
Doktorvater: Prof. Dr. med. Hans-Ulrich Kauczor

Die Bauchspeicheldrüse befindet sich in der Bauchhöhle des menschlichen Körpers und spielt eine wichtige Rolle bei der Verdauung und der Blutzuckerregulierung. Verschiedene Erkrankungen wie Tumore oder zystische Läsionen der Bauchspeicheldrüse können ihre normale Funktion stören. Die CT-Perfusion ist die am häufigsten verwendete funktionelle Bildgebungstechnik zur Diagnose dieser Tumore. Ihre breite Anwendung in der klinischen Praxis wird jedoch durch mehrere Probleme behindert. Ein wesentliches Hindernis ist das Fehlen von standardisierten Protokollen für die Bildaufnahme. Darüber hinaus kann sich das Bildrauschen negativ auf die Perfusionsmessungen auswirken, was zu Ungenauigkeiten bei der Quantifizierung der Gewebedurchblutung führt und damit die klinische Aussagekraft des Verfahrens beeinträchtigt. Um die Genauigkeit der CT-Perfusionsmessungen zu erhöhen, sind Anstrengungen zur Verringerung des Bildrauschens und zur Verbesserung der Bildqualität unerlässlich. Eine weitere kritische Einschränkung der CT-Perfusion ist die damit einhergehende Strahlenbelastung, die - insbesondere für gefährdete Bevölkerungsgruppen wie Kinder und Schwangere - ein Risiko darstellt.

Ziel dieser Arbeit war es, eine umfassende Meta-Analyse der CT-Perfusion im Kontext von wissenschaftlichen Publikationen zur Bauchspeicheldrüse durchzuführen. Dazu wurde eine große Anzahl von veröffentlichten Forschungsartikeln zur CT-Perfusion der Bauchspeicheldrüse gesammelt und analysiert. Dabei lag der Schwerpunkt auf der Einbeziehung von Studien, die über – aus der CT-Perfusion abgeleiteten – quantitative Perfusionsparameter berichten. Darüber hinaus wurde versucht, Aufnahmeparameter zu identifizieren, welche die quantitativen Messungen beeinflussen, um eine Standardisierung dieser Parameter zu ermöglichen. Zudem hinaus wurde ein Algorithmus zur Rauschkorrektur unter Verwendung digitaler Perfusionsphantome entwickelt, um die negativen Auswirkungen des Bildrauschens auf die BF-Perfusionsmessungen abzuschwächen. Um die Strahlenbelastung und die Aufnahmezeit der CT-Perfusion zu reduzieren, wurde eine neuartige Perfusionstechnik, namens FPA, implementiert. Das FPA-Modell wurde anhand des am häufigsten verwendeten CT-Perfusionsmodells (MSM) validiert. Im Gegensatz zur CT-Perfusion mit mehreren Volumenaufnahmen werden bei der FPA nur zwei Volumenaufnahmen durchgeführt. Das Timing für diese beiden Volumenaufnahmen wurde auf der Grundlage der Informationen über die Kontrastmittelinjektion geschätzt und optimiert. Durch die Verringerung der Anzahl der Volumenaufnahmen wird die Strahlendosis reduziert und somit eine der kritischen Einschränkungen der CT-Perfusion überwunden.

Die Ergebnisse der Meta-Analyse deuten auf einen Aufwärtstrend bei der Anzahl der CT-Perfusionsstudien und der Stichprobengröße seit 2009 hin. Außerdem nahmen die Menge des

verwendeten Kontrastmittels und die Jodmenge im Laufe der Jahre zu. Die Röhrenspannung ging leicht zurück, während das Strom-Zeit-Produkt der Röhre allmählich anstieg. Die anatomische Abdeckung nahm zu, und die Schichtdicke nahm im Laufe der Zeit ab. Die meisten Studien berichteten über signifikante Unterschiede bei BF und BV zwischen normalem Pankreasgewebe und pathologischen Zuständen. Die Ergebnisse für die Permeabilität waren jedoch weniger konsistent, wobei nur etwa die Hälfte der Studien signifikante Unterschiede zeigte. Darüber hinaus bevorzugten die meisten Forschungsstudien eine vom Hersteller bereitgestellte Software für die Nachbearbeitung. MSM ist das am häufigsten verwendete Modell zur Quantifizierung der Pankreasperfusion. Es wurde festgestellt, dass bestimmte CT-Aufnahmeparameter statistisch signifikante Auswirkungen auf die quantitativen Perfusionsmessungen hatten, insbesondere beim Vergleich von normalem mit pathologischem Pankreasgewebe.

Die Ergebnisse des Rauschkorrekturalgorithmus zeigten eine signifikante Verbesserung der Genauigkeit der BF-Messungen. Eine detaillierte Analyse der GTBF-, rauschbeeinflussten BF- und korrigierten BF-Werte in verschiedenen Geweberegionen zeigte die Wirksamkeit der Rauschkorrektur bei der Abschwächung der nachteiligen Auswirkungen des Rauschens auf die BF-Perfusionsmessungen, was zu einer präziseren Quantifizierung der Gewebepfusion führte. Darüber hinaus unterstrichen die beobachteten Verbesserungen der CNR und der Übereinstimmung zwischen GTBF und rauschkorrigierten BF-Messungen den Nutzen von Algorithmen zur Rauschkorrektur bei der Verfeinerung von BF-Messungen.

Die Ergebnisse der FPA-Technik zeigten eine starke Korrelation der Perfusionsmessungen im Vergleich zur Referenzmethode MSM. Eine kleine COV- und Boxplot-Analyse ergab eine geringere BF-Variation über die Erfassungszeit, insbesondere im Parenchymgewebe. Daher konnte eine hohe Korrelation zu MSM erreicht werden, wenn die Aufnahmezeit innerhalb des optimalen Zeitbereichs gewählt wurde. Die Variationen zwischen den Gewebetypen waren statistisch signifikant, was die Unterscheidungsfähigkeit der FPA unterstreicht. Darüber hinaus wies die FPA im Vergleich zu konventionellen CT-Perfusionsverfahren Vorteile in Bezug auf eine geringere Strahlenbelastung und kürzere Aufnahmezeiten auf.

Bei der klinischen Anwendung der FPA beginnt das Verfahren mit der intravenösen Injektion eines nichtionischen jodhaltigen Kontrastmittels, gefolgt von einem Bolus mit Kochsalzlösung (NaCl). Speziell für die Bildgebung der Bauchspeicheldrüse ist der erste Volumenscan zu erstellen, nachdem der Kontrastmittelbolus einen Schwellenwert von 120 HU in der Bauchorta erreicht hat, was durch Bolus-Tracking präzise erreicht werden kann. Anschließend wird der zweite Volumenscan, basierend auf den Ergebnissen der aktuellen Arbeit, nach einer Verzögerung von 15,5 bis 20,0 Sekunden geplant.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in dieser Arbeit kritische Herausforderungen der CT-Perfusion angesprochen wurden, wobei die Notwendigkeit der Standardisierung von Protokollen, die Auswirkungen des Bildrauschens und die Bedenken bezüglich der Strahlenbelastung hervorgehoben wurden. Die Entwicklung und Anwendung des Rauschkorrekturalgorithmus und der FPA-Technik sind wichtige Schritte, um CT-Perfusionscans klinisch akzeptabler zu machen.