

Schnellere MR-Bildgebung des Kniegelenkes mit Compressed SENSE und künstlicher Intelligenz

Andra-Iza Iuga¹, Philip Santiago Rauen¹, Florian Siedek¹, Nils Große-Hokamp¹, Kristina Sonnabend^{1,2}, David Maintz¹, Grischa Bratke¹

¹ Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Medizinische Fakultät und Universitätsklinikum Köln, Universität zu Köln, Köln, Deutschland

² Philips Healthcare Germany, Hamburg, Germany

Motivation

Beschleunigte MRT-Sequenzen sind ein Schlüsselfaktor zur Reduzierung der Kosten einzelner Scans bei gleichbleibender diagnostischer Qualität.¹ Techniken, die eine unvollständige Abtastung des k-Raums verwenden, sind in erheblichem Ausmaß von dem gewählten Rekonstruktionsalgorithmus abhängig um eine ähnliche Bildqualität zu erreichen. Ziel dieser Studie war es, die klinische Umsetzbarkeit der Verwendung von Compressed SENSE (CS) in Kombination mit einem neu entwickelten Deep-Learning (DL)-basierten Algorithmus unter Verwendung von Convolutional Neural Networks (CSAI)² zur Beschleunigung der 2D-Bildgebung des Kniegelenkes zu untersuchen.

Material und Methoden

In dieser prospektiven Studie wurden 20 gesunde Probanden mit einem 3-Tesla-MRT-Scanner (Ingenia, Philips, Best, Niederlande) gescannt. Alle Probanden erhielten eine nicht beschleunigte fettgesättigte sagittale 2D-Protonendichte-Sequenz (PD) (CS 1) und vier beschleunigte Sequenzen: CS 2, CS 3, CS 4 und CS 6. Die Bilder wurden mit dem konventionellen CS und dem neuen CS-AI-Algorithmus für alle Beschleunigungsfaktoren rekonstruiert. Zwei unabhängige Auswerter bewerteten alle Aufnahmen unter Berücksichtigung der Gesamtbildqualität, des vorderen Kreuzbandes (VKB), des hinteren Kreuzbandes (HKB), der Menisken, des Knorpels, des Knochens und der Artefakte anhand einer 5-Punkte-Likert-Skala. Zu den objektiven Analysen gehörte außerdem die Berechnung des Signal-Rausch-Verhältnisses (SNR) und des Kontrast-Rausch-Verhältnisses (CNR). Der Friedman- und Dunn's-Mehrfachvergleichstest wurde für ordinale Daten verwendet, während ANOVA und der Tukey-Kramer-Test für kontinuierliche Daten angewendet wurden. Cohens Kappa wurde für die Interrater-Reliabilität berechnet.

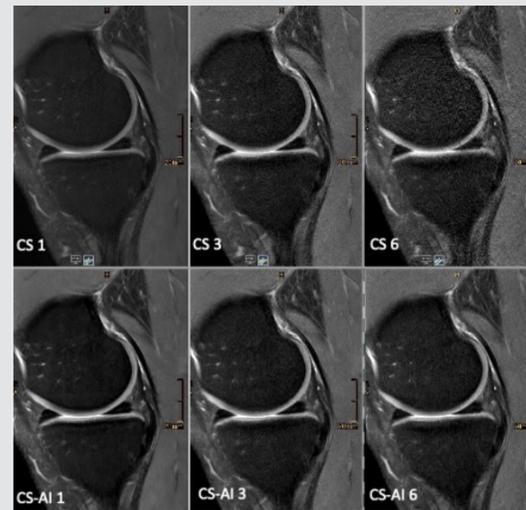


Abbildung 1

Vergleich der nicht beschleunigten fettgesättigten 2D PD Sequenz (CS 1) mit der konventionellen CS und der neuen CS-AI-Bildrekonstruktion für Beschleunigungsfaktor 3 und 6.

Abbildung 2

Vergleich der nicht beschleunigten fettgesättigten 2D PD Sequenz (CS 1) mit der konventionellen CS und der neuen CS-AI-Bildrekonstruktion für Beschleunigungsfaktor 3. Es lässt sich nahezu kein Unterschied zwischen der Referenz CS 1 und CS-AI 3 feststellen.



Schlussfolgerung

Die AI-basierte Rekonstruktionen zeigen für allen untersuchten Kriterien eine bessere Leistung als die konventionelle CS für alle getesteten Beschleunigungsfaktoren. Die Kombination von Compressed SENSE mit dem neu entwickelten Deep-Learning-basierten Algorithmus ermöglicht eine Reduzierung der Scanzeit für die 2D-Bildgebung des Kniegelenkes von bis zu 64%.

Ergebnisse

Die Scanzeiten der Sequenzen waren: CS 1: 317 s; CS 2: 165 s; CS 3: 114 s; CS 4: 89 s; CS 6: 63 s. Die AI-basierte Rekonstruktion ermöglichte eine Reduktion der Scanzeit von bis zu ca. 64 % im Vergleich zu den beschleunigten Sequenzen (CS-AI 3). Mit Ausnahme von Artefakten war die subjektive Bewertung für CS-AI bei mindestens einem Beschleunigungsfaktor signifikant höher als bei konventionellem CS. Die CS-AI Sequenzen wurden für alle Beschleunigungsfaktoren und alle Kriterien mit statistischer Signifikanz für Knorpel (Faktor 3 und 4), VKB (Faktor 3), HKB (Faktor 3), Menisken (Faktor 3), Knochen (Faktor 2 und 3) und Gesamtbildeindruck (Faktor 3 und 4) besser bewertet als die zeitäquivalente CS Sequenzen. SNR und CNR erwiesen sich für alle CS-AI-Rekonstruktionen signifikant besser (alle $p < 0.05$).

Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass die Kombination von CS mit dem neu entwickelten Deep-Learning-basierten Algorithmus (CS-AI) der konventionellen CS-Rekonstruktion überlegen ist und daher höhere Beschleunigungen bei unveränderter Bildqualität ermöglicht. Nach bestem Wissen ist unsere Studie die erste, die die klinische Einsetzbarkeit des neu entwickelten hybriden Deep-Learning-basierten Algorithmus unter Verwendung von Convolutional Neural Networks (CS-AI) untersucht. (2,3) Der Algorithmus scheint robust genug zu sein, um als neue Referenz in der klinischen Routine eingesetzt zu werden, da er für alle getesteten subjektiven und objektiven Kriterien überlegene Ergebnisse aufwies. Die wichtigsten Limitationen dieser Studie sind die kleine Stichprobengröße und die Tatsache, dass zu diesem Zeitpunkt nur gesunde Probanden eingeschlossen wurden. Zukünftige Arbeit sollte größere Mengen an Probanden sowie Patienten berücksichtigen, um verschiedene Kniepathologien und die Übertragbarkeit in die klinische Routine zu analysieren.

Referenzen

- Hollingsworth KG. Reducing acquisition time in clinical MRI by data undersampling and compressed sensing reconstruction. Phys. Med. Biol. 2015 doi: 10.1088/0031-9155/60/21/R297.
- Pezzotti N, De Weerd E, Yousefi S, Staring M. Adaptive-CS-Net: FastMRI with Adaptive Intelligence. arXiv:1912.12259 2019.
- Pezzotti N, Yousefi S, Elmahdy MS, et al. An Adaptive Intelligence Algorithm for Undersampled Knee MRI Reconstruction. IEEE Access 2020 doi: 10.1109/access.2020.3034287.