

Siemens Healthineers – Taktgeber bei MRT- Beschleunigungstechniken

Whitepaper

In einem Marktumfeld mit sinkenden Vergütungssätzen für MRT-Untersuchungen steigt der Druck auf radiologische Einrichtungen, die Zahl der Untersuchungen pro Tag bei gleichbleibender Qualität zu erhöhen, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Durch die konsequente Weiterentwicklung von Spulen, Scanner-Hardware und Benutzeroberflächen hat Siemens Healthineers in den letzten Jahren einen besonderen Fokus auf die Steigerung von Produktivität und die Standardisierung von Untersuchungsabläufen gelegt. Ein Beispiel hierfür stellt die Nutzung künstlicher Intelligenz zur Unterstützung bei der optimierten Planung und Durchführung von Untersuchungen dar.

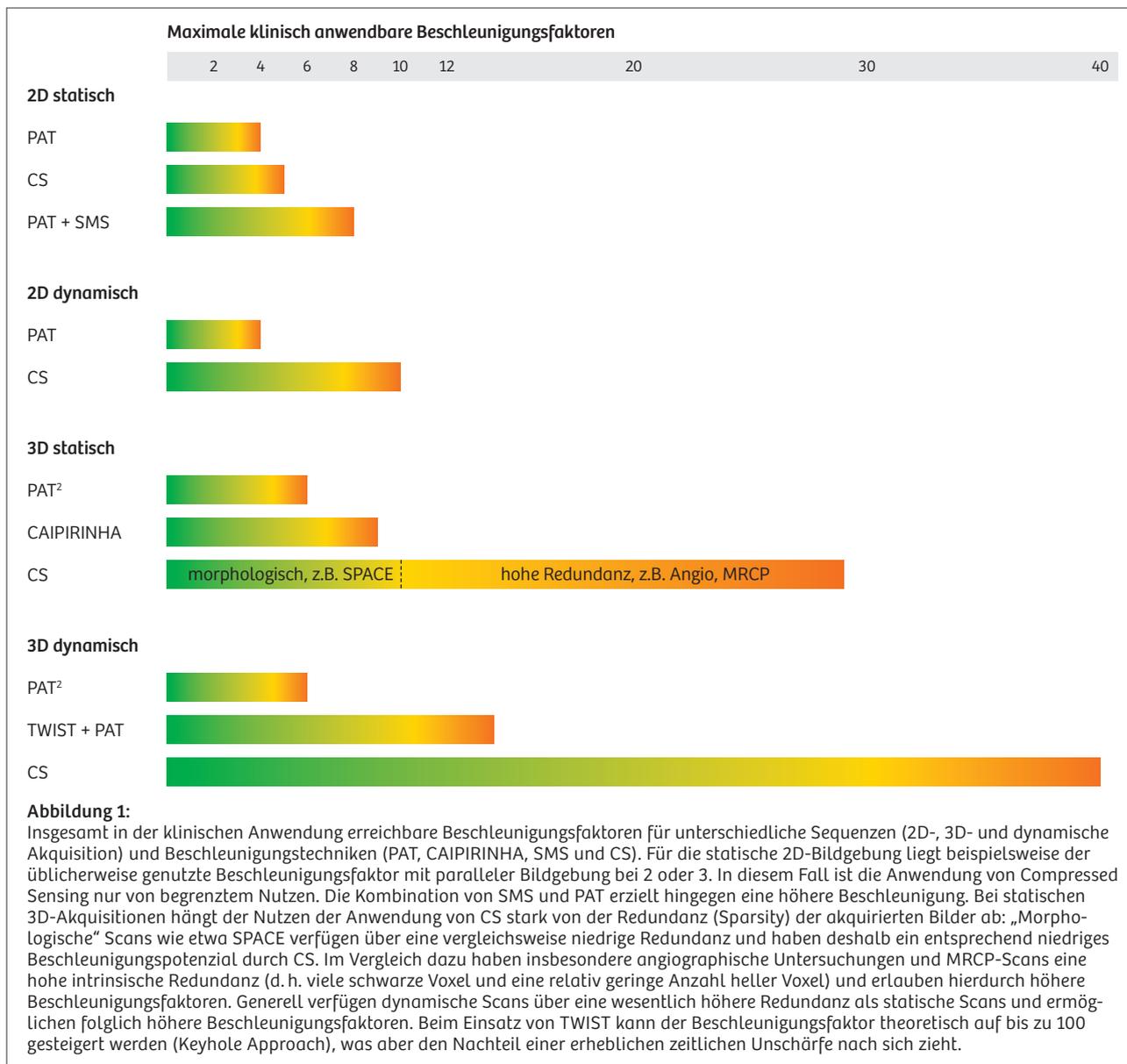
In diesem Kontext spielen schnelle und robuste Akquisitionstechniken eine zentrale Rolle. Über den reinen Zeitgewinn hinaus steigern schnelle Untersuchungen zugleich die Patientenzufriedenheit und führen zu weniger Untersuchungsabbrüchen und Bewegungsartefakten. Allerdings führt eine schnellere Akquisition typischerweise zu Kompromissen bei der räumlichen Auflösung (wie etwa bei Partial- oder Half-Fourier-Techniken) oder sie geht auf Kosten des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses (wie z. B. in der konventionellen parallelen Bildgebung).

Durch die Einführung innovativer Methoden wie Compressed Sensing (CS), CAIPIRINHA und Simultaneous Multi Slice (SMS) wurde das alte Paradigma „There is no free lunch in MRI“ („In der MRT gibt es keinen Zugewinn ohne Verlust“) aufgehoben. Diese von Siemens Healthineers vorangetriebenen Techniken ermöglichen im perfektem Zusammenspiel mit dem Spulenportfolio von höchster Spulenelementdichte eine Beschleunigung der Bildakquisition in allen Körper- und Untersuchungsregionen für eine Vielzahl von Sequenzen und Kontrasten. Im Sinne einer reibungslosen Anwendung in der täglichen klinischen Routine ist es für Siemens Healthineers außerdem besonders wichtig, die Bildrekonstruktion vollständig in die Scannerarchitektur zu integrieren.

Das bedeutet, dass Bilder und Ergebnisse direkt am Scanner bereitgestellt werden anstatt die akquirierten Rohdaten aufwendig in eine Cloud hochzuladen oder auf einen separaten Nachverarbeitungsserver übertragen zu müssen.

Es ist wichtig, an dieser Stelle zu betonen, dass nicht alle Bildgebungstechniken gleichermaßen von der Beschleunigung durch Compressed Sensing und von der iterativen Rekonstruktion profitieren. So sind insbesondere zeitlich dynamische Messungen (dynamische 2D-Herzuntersuchungen oder dynamische 3D-Kontrastmittelanflutung) durch eine hohe Redundanz (Sparsity) der Daten gekennzeichnet. Vereinfacht gesagt: Im Bild ändert sich über die Zeit nicht viel. In diesen Fällen ist Compressed Sensing mit iterativer Rekonstruktion besonders wirkungsvoll, weil die Algorithmen nicht nur räumlich, sondern auch über die Zeit hinweg angewandt werden können. Dies ist die am weitesten entwickelte Einsatzmöglichkeit für CS und ermöglicht eine bis zu 40-fache Beschleunigung der Akquisition. Demgegenüber haben konventionelle „statische“ Bilddaten eine deutlich geringere Redundanz, wodurch die tatsächlich klinisch anwendbare Beschleunigung mit CS stark limitiert ist (siehe hierzu Abbildung 1). So liegt beispielsweise der typischerweise verwendbare CS-Beschleunigungsfaktor für eine 2D-TSE/FSE-Messung nur bei einem Wert von 2 bis 3. Demgegenüber kann Simultaneous Multi Slice (die gleichzeitige Anregung mehrerer Schichten) mit einer parallelen Bildgebung in der Schicht (PAT) kombiniert und dadurch eine Beschleunigung um das 4-Fache (2x2) oder 6-Fache (3x2) erzielt werden (siehe hierzu Abbildung 1).

Basierend auf diesen Tatsachen hat Siemens Healthineers gezielt diejenigen Messtechniken mit Compressed Sensing beschleunigt, die hiervon am meisten profitieren, und stellt insgesamt vermutlich das umfangreichste Portfolio an unterschiedlichen Beschleunigungsverfahren bereit. Somit kann für jede klinische Anwendung die am besten geeignete



Methode herangezogen werden, um signifikant kürzere Gesamtuntersuchungen bei gleichbleibend hoher Qualität zu gewährleisten. Der Vorteil beschränkt sich jedoch nicht nur auf kürzere Messzeiten. Beschleunigung kann auch ein Hebel für höhere Auflösung sein, um mehr Informationen in der gleichen Zeit zu gewinnen. Oder sie kann helfen, dynamische Prozesse wie das Schlagen des Herzens oder die Passage des Kontrastmittelbolus besser zu visualisieren und die Zahl der Atemanhaltephasen zu reduzieren bzw. sie komplett verzichtbar zu machen. Damit tragen

schnellere Messungen letztendlich dazu bei, mehr Patienten zuverlässiger mit der MRT zu untersuchen.

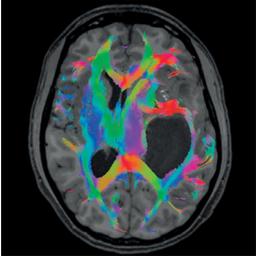
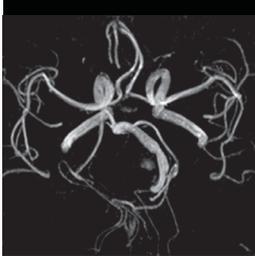
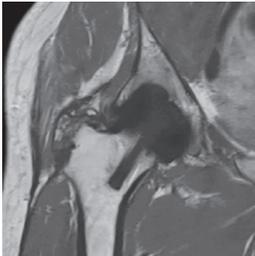
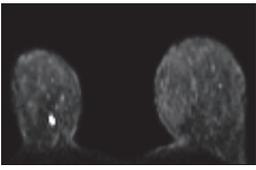
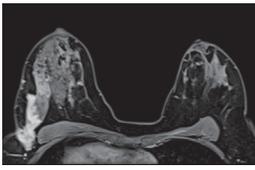
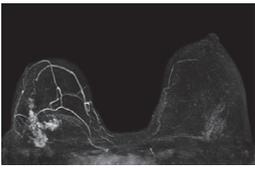
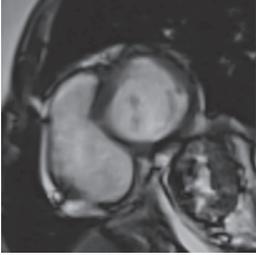
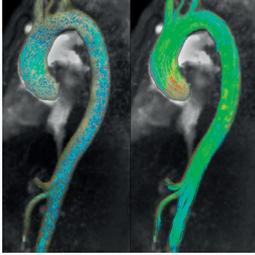
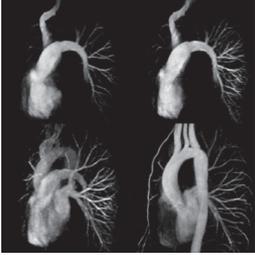
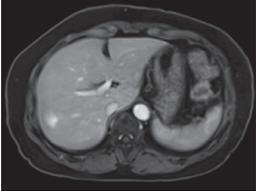
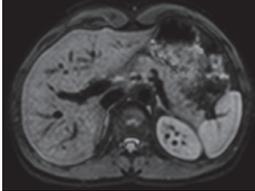
Siemens Healthineers hat als erster Anbieter CS, SMS und CAIPIRINHA in den Markt eingeführt, und hat den Anspruch, auch in der Zukunft den Takt bei neuen Beschleunigungsverfahren anzugeben. Auf den folgenden Seiten erhalten Sie einen Überblick über die aktuell kommerziell erhältlichen und in der Entwicklung befindlichen Techniken, durch die sich die klinische Anwendbarkeit, die Produktivität und der Patientenkomfort in der MRT steigern lässt.



1. Platz bei der ISMRM SRT Reconstruction Challenge und R&D100 Award

Der Compressed-Sensing-Cardiac-Cine-Algorithmus von Siemens Healthineers erhielt bei der ISMRM SRT Reconstruction Challenge 2014 den ersten Preis von 23 eingereichten Verfahren unterschiedlicher Hersteller. 2017 erhielt Siemens Healthineers den renommierten R&D 100 Award für das technologisch bedeutendste Produkt. CS Cardiac Cine wurde außerdem mit dem Gold Award 2017 in der Kategorie „Market Disruptor Product“ ausgezeichnet.

Neben Standardbeschleunigungstechniken bieten wir ein umfassendes Portfolio von speziell auf die zentralen klinischen Bereiche zugeschnittenen Beschleunigungslösungen.

Neurologie	SMS BOLD / DWI / DTI  bis zu x8 6:42 min	3D CS TOF*  bis zu x6,8 3:30 min	SMS TSE*  bis zu x4 1:14 min
	3D CAIPIRINHA SPACE  bis zu x4 4:41 min	CS SEMAC*  bis zu x8 4:01 min	SMS TSE*  bis zu x6 2:11 min
	SMS DWI  bis zu x4 2:12 min	4D TWIST-VIBE  bis zu x8 7 s pro 3D-Volumen	4D CS kartesisch VIBE*  bis zu x20 4 s pro 3D-Volumen
Kardiovaskulär	2D dynamisch CS Cardiac Cine  bis zu x10 Linksventrikuläre Funktion in 7 - 15 s	4D CS Flow*  bis zu x7,7 3:36 min	4D CS TWIST*  bis zu x22 2 s pro 3D-Volumen
	4D CS GRASP-VIBE  bis zu x40 3 s pro 3D-Volumen	SMS DWI  bis zu x4 2:36 min	3D CS SPACE MRCP*  bis zu x28 16 s
Body			

Legende: ■ Maximaler Beschleunigungsfaktor** ■ Scanzeit / zeitliche Auflösung

* Dieses Produkt befindet sich zurzeit noch in der Entwicklung; es ist in den USA und anderen Ländern nicht kommerziell erhältlich. Eine zukünftige Verfügbarkeit kann nicht zugesagt werden.

** Der maximale Beschleunigungsfaktor kann aus der Kombination von paralleler Bildgebung und SMS resultieren, z.B. SMS 3 x PAT 2 = 6.

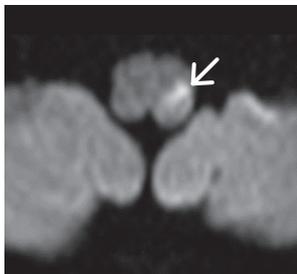
Bildquellen: Centre Hospitalier Universitaire de Québec, Université Laval, Québec, Kanada (SMS DS). Prof. B. Wintersperger, Toronto General Hospital, Toronto, Kanada (CS TOF). CMRR, University of Minnesota, Minneapolis, USA (SMS TSE). Prof. Jan Fritz, The John Hopkins School of Medicine, Baltimore, USA (CS SEMAC). CHRU Brest, Brest, Frankreich (SMS DWI, Breast). Dr. Evelyn Wenkel, Universitätsklinikum Erlangen (TWIST). Dr. Kanao, Universität Kyōto, Kyōto, Japan (CS VIBE). Prof. J. M. Lee, SNUH, Seoul, Südkorea (CS SPACE MRCP).

Beschleunigung mit Simultaneous Multi-Slice

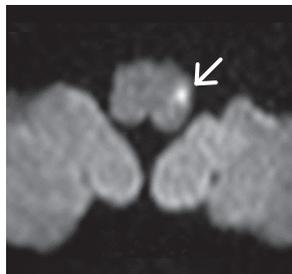
Neurologie

Herausforderung: Unklarer Befund mit DWI: Suszeptibilitätsartefakt oder kleiner medullärer Infarkt?

Konventionelle DWI, b-Wert 1000, SL 4 mm



SMS-beschleunigte DWI, b-Wert 1000, SL 2 mm



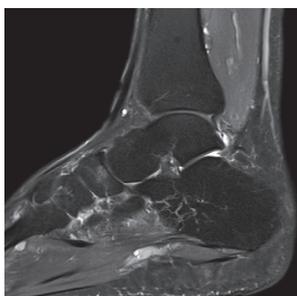
Doppelt so hohe Auflösung

Lösung: Erkennen einer klar umschriebenen Läsion bei mehrfachen 2 mm Schichten. Höhere Diagnose-sicherheit ohne Verlängerung der Scanzeit.

Muskuloskelettal

Herausforderung: Knie- und Fuß/Knöchel-Untersuchungen gehören zu den häufigsten MRT-Routineuntersuchungen. Hochauflösende 2D-Scans erhöhen die Gesamtscanzeit um bis zu 15–20 Minuten.

Konventionelles TSE, TA 3:32 min



SMS-beschleunigtes TSE*, TA 1:51 min



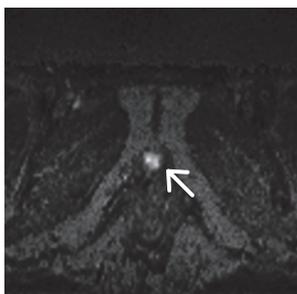
Um 48% schneller

Lösung: Durch eine zusätzliche Zeitersparnis von bis zu 50% pro Scan im Vergleich zur konventionellen parallelen Bildgebung verkürzt die SMS-beschleunigte TSE-Bildgebung die Untersuchungszeit bei Knie- bzw. Fuß/Knöchel-Scans um beinahe die Hälfte. Das kann dazu beitragen, den Patientendurchsatz pro Tag deutlich zu steigern.

Prostata

Herausforderung: DWI mit hohen b-Werten und dünnen Schichten ist für die Prostatabildgebung entscheidend. Um ein gutes SNR im Beckenbereich zu erzielen sind jedoch lange Scanzeiten nötig, speziell mit 1,5T.

Konventionelle DWI (berechneter b-Wert 2000), TA 4:58 min



SMS-beschleunigte DWI (berechneter b-Wert 2000), TA 2:55 min



Um 41% schneller

Lösung: Durch die SMS-beschleunigte DWI können die Untersuchungszeiten für die Prostata-DWI deutlich verkürzt werden. Hierdurch wird eine effiziente Routinebildgebung möglich.

Durch das gleichzeitige Anregen und Auslesen mehrerer Schichten ermöglicht Simultaneous Multi Slice (SMS) eine Beschleunigung der Bildgebung um das bis zu 8-Fache. SMS DWI, DTI und BOLD ebnen den Weg für die klinische Routineanwendung von fortschrittlichen neurologischen Applikationen und bieten gleichzeitig deutliche Zeiteinsparungen bei der Body-DWI. Durch die Anwendung eines SMS-Faktors von 2 hat die SMS-beschleunigte TSE-Bildgebung das Potenzial, muskuloskeletale Routineuntersuchungen deutlich zu beschleunigen.

Erfahren Sie mehr über Simultaneous Multi-Slice unter [siemens.com/magnetom-world](https://www.siemens.com/magnetom-world) > Hot Topics

* Dieses Produkt befindet sich zurzeit noch in der Entwicklung; es ist in den USA und anderen Ländern nicht kommerziell erhältlich. Eine zukünftige Verfügbarkeit kann nicht zugesagt werden.

Bildquelle für die neurologischen Bilder: Prof. Val M. Runge, et al. Simultaneous Multi-Slice (slice accelerated) diffusion EPI: Early experience for brain ischemia and cervical lymphadenopathy. MAGNETOM Flash 2015; 63 (Special SMS Supplement): 92-95. Bildquelle für die Prostatabilder: CHRU Brest, Brest, Frankreich.

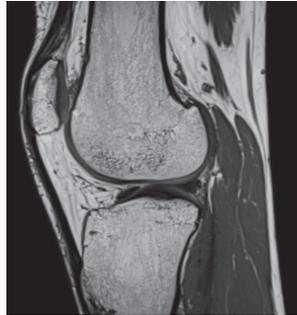
Beschleunigung mit 3D CAIPIRINHA SPACE und 3D CAIPIRINHA VIBE

Muskuloskelettal

Herausforderung:

Hochauflösende 3D-Scans führen zu nicht akzeptablen Scanzeiten. Auf der anderen Seite erlauben 3D-Scans äußerst wünschenswerte, flexible Rekonstruktionsmöglichkeiten wie etwa Kreuzband- oder Meniskusansichten.

PAT 2, 0,5 mm isotrop,
TA 9:58 min



CAIPIRINHA 4, 0,5 mm isotrop,
TA 4:41 min



Um 50% schneller

Lösung:

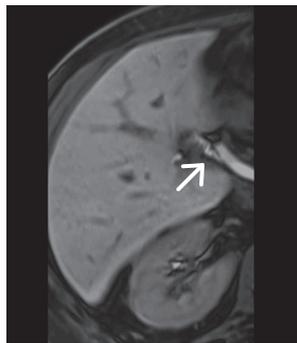
Die CAIPIRINHA-SPACE-Technologie von Siemens Healthineers ebnet den Weg für eine klinische Anwendung von hochauflösender, isotroper 3D-MSK-Bildgebung. GOKnee3D nutzt CAIPIRINHA SPACE für hochauflösende diagnostische Knieuntersuchungen inklusive PD und T2 FatSat in 10 Minuten.

Abdomen

Herausforderung:

Viele Patienten sind nicht in der Lage, ihren Atem für länger als 15 Sekunden anzuhalten. Deshalb ist die Qualität der abdominalen MRT oft durch Unschärfe oder starke Bewegungsartefakte beeinträchtigt, die eine Befundung erschweren.

PAT 2, TA 22 s



CAIPIRINHA 4, TA 10 s



Deutlich kürzeres
Atemanhalten

Lösung:

Die CAIPIRINHA-VIBE-Technologie von Siemens Healthineers kann dafür genutzt werden, die Atemanhaltezeiten deutlich zu verkürzen und so eine deutlich höhere Kantenschärfe, eine verbesserte Abgrenzung von Strukturen und eine Reduktion von Veratmungen zu erzielen. Das erhöht die Diagnosesicherheit und führt zu größerer Verlässlichkeit der abdominalen MRT-Bildqualität.

Abdomen

Herausforderung: Um die Atemanhaltezeit auf ein erträgliches Maß zu beschränken, muss bei Abdomenscans oft die räumliche Auflösung geopfert werden, was die Beurteilung erschweren kann.

GRAPPA 3, Matrix 256,
SL 3 mm, TA 19,2 s



CAIPIRINHA 6, Matrix 320,
SL 1,5 mm, TA 18,1 s



3-fach höhere Auflösung

Lösung: Die höhere räumliche Auflösung mit CAIPIRINHA VIBE unterstützt die Sichtbarkeit von abdominalen Läsionen*.

CAIPIRINHA (Controlled Aliasing in Parallel Imaging Results in Higher Acceleration) für SPACE und VIBE ist ein k -Raum-Akquisitionsverfahren für die parallele Bildgebung (PAT), die das SNR im Vergleich zu konventionellen Beschleunigungstechniken mit SENSE oder GRAPPA** um bis zu 18% verbessert. Das ermöglicht die Nutzung höherer PAT-Faktoren in der klinischen Routine, die zu deutlich schnelleren muskuloskelettalen Untersuchungen oder kürzeren Atemanhaltezeiten führen kann.

* ALObaidy M, et al. Eur Radiol. 2015 Apr 28. PMID: 25916391

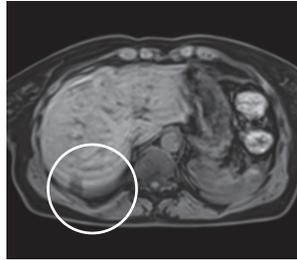
** Breuer FA et al, Magn Reson Med 2006; 55 (3): 549-56

Beschleunigung mit Compressed Sensing

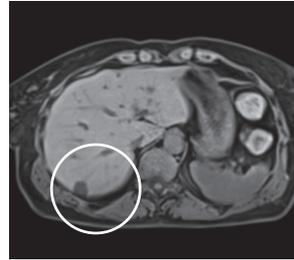
Abdomen

Herausforderung: Bei Patienten mit begrenzter Atemanhaltefähigkeit, wie etwa bei dementen oder schwerhörigen Patienten bzw. bei Kindern* oder Patienten mit mehrfachen Erkrankungen, drohen nichtdiagnostische Aufnahmen.

Konventionelle 3D VIBE-Bildgebung, Atemanhaltezeit: 14 s



4D Compressed Sensing GRASP-VIBE, Akquisition in freier Atmung



Freies Atmen

7 s pro 3D-Volumen

Lösung: Durch die Möglichkeit von dynamischen Leberaufnahmen auf Knopfdruck und in freier Atmung, durchbricht Compressed Sensing GRASP-VIBE die Zeitbarrieren bei der dynamischen Bildgebung und eliminiert Atemartefakte. Dadurch wird bei mehr Patienten eine Leber-MRT durchführbar.

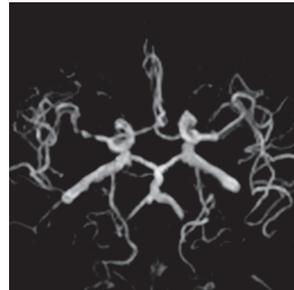
Neurologie

Herausforderung: Die TOF-Bildgebung ist entscheidend für die Identifikation von Gefäßverschlüssen, Fehlbildungen oder Aneurysmen. Auf der anderen Seite liegt die Scanzeit aber üblicherweise bei etwa fünf Minuten.

Konventionelle 3D TOF-Bildgebung, 0,6 x 0,6 x 0,6 mm³, TA 5:54 min



Compressed Sensing 3D ToF^{**}, 0,6 x 0,6 x 0,6 mm³, TA 3:15 min



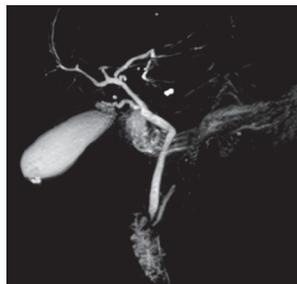
Um 45% schneller

Lösung: Compressed Sensing Time of Flight (TOF)^{**} ermöglicht Verkürzungen der Scanzeit um bis zu 50% ohne Einbußen bei der Bildqualität. In besonders zeitkritischen Fällen, wie etwa bei Schlaganfällen, kann die Scanzeit auf bis zu zwei Minuten verkürzt werden.

Abdomen

Herausforderung: 3D SPACE MRCP erfordert üblicherweise Akquisitionszeiten von vier bis sechs Minuten mit Atemtriggerung, was zu einem hohen Risiko von Bewegungsartefakten führt, die die Bildqualität beeinträchtigen.

PACE-getriggerte 3D SPACE-Bildgebung, PAT 6, TA 5:48 min



3D CS SPACE, 28-fache Beschleunigung, TA 16 s Atemanhaltephase



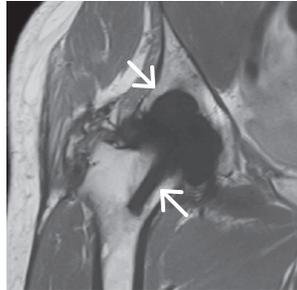
Nur 16 s

Lösung: Mit Compressed Sensing kann eine 3D SPACE MRCP entweder getriggert mit deutlich verkürzter Scanzeit gemessen werden oder sie kann sogar innerhalb einer kurzen Atemanhaltephase durchgeführt werden.

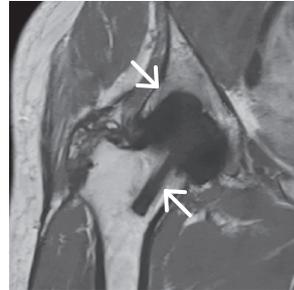
Muskuloskelettal

Herausforderung: Die konventionelle SEMAC-Technik ermöglicht eine deutliche Metallartefaktreduktion^{***}, doch die klinische Anwendung erfordert jedoch lange Scanzeiten.

SEMAC T1 TSE, PAT 3,
0,8 x 0,8 x 3,5 mm³, TA 10:06 min



Compressed Sensing
T1 SEMAC TSE ^{**},
Beschleunigungsfaktor 8,
0,8 x 0,8 x 3,5 mm³, TA 4:01 min



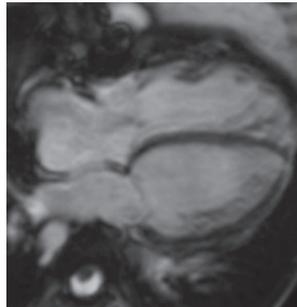
Mehr als 60% schneller

Lösung: Deutlich verkürzte Scanzeiten mit Compressed Sensing SEMAC ermöglichen eine klinische Anwendung fortschrittlicher Techniken zur Metallartefaktreduktion.

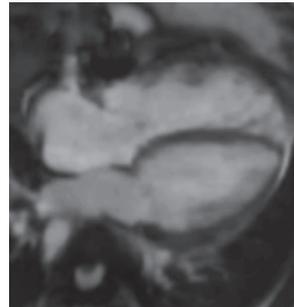
Kardiologie

Herausforderung: Herz-MRT-Patienten weisen häufig eine unregelmäßige Herzfrequenz auf und verfügen meist nur über eine eingeschränkte Atemanhaltefähigkeit, was zu nicht-diagnostizierbaren Bildern führt.

Konventionelles Cardiac Cine,
TA ca. 4 - 6 min, ca. 7 - 12 Mal
Atemanhaltetechnik



CS Cardiac Cine,
TA ca. 23 s in freier Atmung oder
mit nur einer Atemanhaltephase



Hochgradig robust

Lösung: Im Vergleich dazu bieten mit Compressed Sensing Cardiac Cine akquirierte Bilder diagnostische Bildqualität in nur 23 Sekunden bei freier Atmung. Durch die Akquisition von einer Aufnahme pro Herzschlag wird eine robuste Bildqualität auch bei Patienten mit Dyspnoe, unregelmäßiger Herzfrequenz und komplexer Anatomie gewährleistet.

Compressed Sensing beschleunigt die Datenakquisition durch reduziertes Subsampling um das bis zu 40-Fache. Durch die Anwendung von iterativer Rekonstruktionstechniken auf die Rohdaten wird eine exzellente Bildqualität ohne Artefakte erreicht. Die Beschleunigung ermöglicht wahlweise eine Verkürzung der Scanzeit oder eine Erhöhung der räumlichen und/oder zeitlichen Auflösung. Bildgebung in Echtzeit auf Basis von Compressed Sensing reduziert die Notwendigkeit des Atemanhaltens oder der EKG-Triggerung.

Erfahren Sie mehr über Compressed Sensing unter [siemens.com/magnetom-world](https://www.siemens.com/magnetom-world) > Hot Topics

* Die Unbedenklichkeit von MRT-Untersuchungen bei Föten und Kindern unter zwei Jahren wurde noch nicht bestätigt. Der verantwortliche Arzt muss den Nutzen einer MRT-Untersuchung gegenüber anderen bildgebenden Verfahren abwägen.

** Dieses Produkt befindet sich zurzeit noch in der Entwicklung; es ist in den USA und anderen Ländern nicht kommerziell erhältlich. Eine zukünftige Verfügbarkeit kann nicht zugesagt werden.

*** Die Einschränkungen der Metallimplantate für MRT-Untersuchungen (soweit vorhanden) müssen vor Beginn der Untersuchung bedacht werden. MRT-Bildgebung bei Patienten mit Metallimplantaten birgt besondere Risiken. Für einige Implantate gilt diese Einschränkung jedoch nicht, weil sie für die MRT-Bildgebung zugelassen sind. Bitte informieren Sie sich hierzu beim Implantathersteller. Einschränkungen für die Sicherheit bei MRT-Untersuchungen liegen in der Verantwortung des Implantatherstellers und nicht bei Siemens Healthineers.

Bildquellen: Prof. K. Togashi, Universität Kyōto, Kyōto, Japan (ToF). Prof. J. M. Lee, SNUH, Seoul, Südkorea (MRCP). Prof. Jan Fritz, The John Hopkins School of Medicine, Baltimore, USA (SEMAC). Prof. Pontana, Abteilung für Kardiovaskuläre Radiologie, Université Lille 2, Lille, Frankreich (Cardiac Cine).

Aufgrund lokaler Einschränkungen von Vertriebsrechten und Serviceverfügbarkeiten können wir nicht gewährleisten, dass alle in dieser Broschüre aufgeführten Produkte weltweit gleichermaßen durch Siemens Healthineers vertrieben werden können. Verfügbarkeit und Ausstattungspakete können sich von Land zu Land unterscheiden und ohne Vorankündigung geändert werden. Einige/alle der hier beschriebenen Funktionen und Produkte sind möglicherweise in den USA noch nicht erhältlich.

Dieses Dokument enthält allgemeine technische Beschreibungen von Spezifikationen und Optionen sowie von Standard- und optionalen Funktionen, die nicht in jedem Einzelfall vorhanden sein müssen und möglicherweise nicht in allen Ländern im Handel erhältlich sind. Aufgrund von medizintechnischen Vorgaben

kann die zukünftige Verfügbarkeit nicht garantiert werden. Weitere Informationen erhalten Sie von der für Sie zuständigen Niederlassung von Siemens Healthineers.

Siemens Healthineers behält sich das Recht vor, Konstruktion, Verpackung, Spezifikationen und Optionen ohne vorherige Bekanntgabe abzuändern. Bitte wenden Sie sich an die für Sie zuständige Vertretung von Siemens Healthineers, um die neuesten Informationen zu erhalten.

Hinweis: Alle in diesem Dokument genannten Daten sind toleranzbehaftet. Originalbilder verlieren bei der Reproduktion immer etwas an Detailtreue.

Weiterführende Literatur:

M. Lustig, D. Donoho, and J. M. Pauly. "Sparse MRI: The Application of Compressed Sensing for Rapid MR Imaging". *Magnetic Resonance in Medicine*, Vol. 58, No. 6, pp. 1182–1195, Dec 2007.

A. F. Stalder, M. Schmidt, H. H. Quick, M. Schlamann, S. Maderwald, P. Schmitt, Q. Wang, M. S. Nadar, and M. O. Zenge. "Highly undersampled contrast-enhanced MRA with iterative reconstruction: Integration in a clinical setting", *Magnetic Resonance in Medicine*, Vol. 74, No. 6, pp. 1652–1660, Dec 2015.

T. Yamamoto, K. Fujimoto, T. Okada, Y. Fushimi, A. Stalder, Y. Natsuaki, M. Schmidt, and K. Togashi, "Time-of-Flight Magnetic Resonance Angiography With Sparse Undersampling and Iterative Reconstruction: Comparison With Conventional Parallel Imaging for Accelerated Imaging", *Investigative Radiology*, Vol. 51, No. 6, pp. 372–378, Jun 2016.

J. Wetzl, C. Forman, B. J. Wintersperger, L. D'Errico, M. Schmidt, B. Mailhe, A. Maier, and A. F. Stalder. "High-resolution dynamic CE-MRA of the thorax enabled by iterative TWIST reconstruction", *Magnetic Resonance in Medicine*, doi: 10.1002/mrm.26146.

R. Otazo, M. Nittka, M. Bruno, E. Raithel, C. Geppert, S. Gyftopoulos, M. Recht, and L. Rybak. "Sparse-SEMAC: Rapid and Improved SEMAC Metal Implant Imaging Using SPARSE-SENSE Acceleration", *Magnetic Resonance Imaging*, July 2016, Early View, DOI: 10.1002/mrm.26342.

J. Fritz, S. Ahlawat, S. Demehri, G.K. Thawait, E. Raithel, W.D. Gilson, M. Nittka. "Compressed Sensing SEMAC: 8-fold Accelerated High Resolution Metal Artifact Reduction MRI of Cobalt-Chromium Knee Arthroplasty Implants", *Investigative Radiology*, Oct 2016, Vol. 51, Issue 10, pp. 666–676.

J. Fritz, E. Raithel, G. K. Thawait, W. Gilson, and D. F. Papp. "Six-Fold Acceleration of High-Spatial Resolution 3D SPACE MRI of the Knee Through Incoherent k-Space Undersampling and Iterative Reconstruction – First Experience". *Investigative Radiology*, Vol. 51, No. 6, pp. 400–409, Jun 2016.

D. Nickel, X. Chen, B. Mailhe, Q. Wang, Y. Son, J. M. Lee, and B. Kiefer. "Motionresolved 3D dynamic contrast enhanced liver MRI", In: *Proceedings of the 24th Annual Meeting of ISMRM*, p. 4253, Singapore, May 2016.

G. Vincenti, P. Monney, J. Chaptinel, T. Rutz, S. Coppo, M.O. Zenge, M. Schmidt, M.S. Nadar, D. Piccini, P. Chevre, M. Stuber, and J. Schwitler, "Compressed Sensing Single-Breath-Hold CMR for Fast Quantification of LV Function, Volumes, and Mass" *JACC: Cardiovascular Imaging*, Vol. 7, No. 9, pp. 882–892, Sep 2014.

C. Forman, J. Wetzl, C. Hayes, M. Schmidt, "Compressed Sensing: a Paradigm Shift in MRI" *MAGNETOM Flash, Compressed Sensing Supplement*, Vol. 66, 3/2016, pp. 8–13.

M. Blasche, C. Forman, "Compressed Sensing – the Flowchart" *MAGNETOM Flash, Compressed Sensing Supplement*, Vol. 66, 3/2016, pp. 4–7.

Siemens Healthineers Headquarters

Siemens Healthcare GmbH
Henkestr. 127
91052 Erlangen, Germany
Phone: +49 9131 84-0
siemens.com/healthineers

Legal Manufacturer

Siemens Healthcare GmbH
Karlheinz-Kaske-Str. 2
91052 Erlangen, Germany
Phone: +49 800 311 22
siemens.de/healthineers