

Software-basierte Evaluation des Optimierungspotenzials bei klinischen MRT-Scannern in der Radiologie

Software-Based Evaluation of Optimization Potential for Clinical MRI Scanners in Radiology

Autoren

Tobias Philipp Meyl¹, Anne Berghöfer², Tobias Blatter³, Johannes T. Heverhagen⁴, Maximilian de Bucourt⁵, Martin H. Maurer⁴

Institute

- 1 Medical Department, Medical Strategy, Inselspital, Bern University Hospital, University of Bern, Switzerland
- 2 Institute for Social Medicine, Epidemiology, and Health Economics, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Germany
- 3 Institute for Clinical Chemistry, Inselspital, Bern University Hospital, University of Bern, Switzerland
- 4 Department for Diagnostic, Interventional, and Paediatric Radiology, Inselspital, Bern University Hospital, University of Bern, Switzerland
- 5 Clinic for Diagnostic and Interventional Radiology, Charité Universitätsmedizin Berlin, Germany

Key words

health policy and practice, scheduling, optimization, MR imaging

eingereicht 07.02.2021

akzeptiert 30.09.2021

online publiziert 22.10.2021

Bibliografie

Fortschr Röntgenstr 2022; 194: 391–399

DOI 10.1055/a-1659-8821

ISSN 1438-9029

© 2021, Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14, 70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Dr. Martin Maurer

Department for Diagnostic, Interventional, and Paediatric Radiology, Inselspital, Bern University Hospital, University of Bern, Switzerland

Tel.: +41/31/632 71 80

Fax: +41/31/632 71 80

martin.maurer@insel.ch

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel Ziel der Studie war es, unter Verwendung einer Software-Applikation die Untersuchungsdauern und Wechselzeiten von 2 klinisch stark frequentierten MRT-Scannern einer Universitätsklinik für Radiologie zu analysieren und zu evaluieren, ob sich daraus ein Optimierungspotenzial für die Untersuchungsplanung in der täglichen klinischen Routine der MRT-Diagnostik ableiten lässt.

Material und Methoden Anhand einer detaillierten Abfrage mit einer neu entwickelten Software-Applikation („Teamply Usage“, Siemens Healthineers, Deutschland) wurden innerhalb eines Analysezeitraums von 12 Monaten an 2 MRT-Scannern (1,5 T und 3 T) die durchgeführten Untersuchungen im Hinblick auf Untersuchungsart und jeweilige Untersuchungsdauer analysiert. Zudem erfolgte eine Überprüfung der Einhaltung vorab definierter Planzeiten (30, 45, 60 min) und eine Analyse von Planzeitabweichungen. Des Weiteren wurden Wechselzeiten zwischen Untersuchungen ermittelt und bei einer Auswahl von Wechselkombinationen ein möglicher Einfluss durch den Austausch von MRT-Spulen untersucht.

Ergebnisse Bei insgesamt 7184 (1,5T: 3740; 3T: 3444) in die Studie einbezogenen Untersuchungen betrug die mediane Untersuchungsdauer 43:02 Minuten (1,5T: 43:17 min; 3T: 42:45 min). Die 10 häufigsten Untersuchungsarten je MRT-Scanner wurden unter Berücksichtigung einer Vor- und Nachbereitungszeit von 9 Minuten je Untersuchung zu 54,5 % (1,5T) bzw. 51,9 % (3 T) innerhalb der vordefinierten Planzeit abgeschlossen. Gesamthaft betrachtet wurde für Untersuchungen mit einer Planzeit von 30 Minuten mehr Zeit aufgewendet, hingegen wurde der größte Anteil der mit 45 Minuten geplanten Untersuchungen auch innerhalb dieser Zeit abgeschlossen. Untersuchungen mit einer Planzeit von 60 Minuten nahmen zumeist weniger Zeit in Anspruch. Ein Vergleich zwischen Planzeit und ermittelter Untersuchungsdauer der häufigsten Untersuchungsarten zeigte insgesamt ein nur geringes Optimierungspotenzial. Spulenaustausche zwischen 2 Untersuchungen hatten einen geringen, jedoch statistisch nicht signifikanten Effekt auf die mediane Wechselzeit ($p=0,062$).

Schlussfolgerung Mittels einer Software-basierten Analyse konnte ein detaillierter Überblick in Bezug auf Untersuchungsart, Untersuchungsdauer und Wechselzeiten hochfrequen-

tierter klinischer MRT-Scanner erlangt werden. In der untersuchten Klinik ließ sich ein geringes Optimierungspotenzial für die Untersuchungsplanung ableiten. Ein für unterschiedliche Untersuchungsarten notwendiger Austausch von MRT-Spulen hatte einen geringen Effekt auf die Wechselzeiten.

Kernaussagen

- Die Anwendung der Software-Applikation „Teamply Usage“ ermöglicht einen umfassenden Überblick in Bezug auf Untersuchungsart, Untersuchungsdauer und Wechselzeiten von MRT-Scannern.
- Anpassungen der Untersuchungsplanung bei der MRT-Diagnostik zeigen Optimierungspotenzial, das in der untersuchten Klinik jedoch als gering zu bewerten ist.
- Notwendige Austausche von MRT-Spulen zeigen einen kleinen Effekt auf die Wechselzeiten.

Zitierweise

- Meyl TP, Berghöfer A, Blatter T et al. Software-Based Evaluation of Optimization Potential for Clinical MRI Scanners in Radiology. *Fortschr Röntgenstr* 2022; 194: 391–399

ABSTRACT

Objective The aim of the study was to use a software application to analyze the examination times and changeover times of two clinically highly applied MRI scanners at a university hospital for radiology and to evaluate whether this could result in optimization potential for examination planning in the daily clinical routine of MRI diagnostics.

Materials and Methods Based on the newly developed software application “Teamply Usage” (Siemens Healthineers, Germany), the examinations carried out on two MRI scanners (1.5 T and 3 T) were investigated within an analysis period of

12 months with regard to the type of examination and its duration. In addition, compliance with the previously defined planning time (30, 45, 60 min.) was checked and deviations were analyzed. In addition, the changeover times between the examinations were determined and a possible influence due to the exchange of MRI coils was investigated for a selection of change combinations.

Results For the total of 7184 (1.5T: 3740; 3T: 3444) examinations included in the study, the median examination time was 43:02 minutes (1.5T: 43:17 min.; 3T: 42:45 min.). The ten most frequent types of examinations per MRI scanner were completed within the predefined plan time of 54.5% (1.5 T) and 51.9% (3 T), taking into account a previously defined preparation and post-processing time of 9 minutes per examination. Overall, more time was spent on examinations with a planned time of 30 minutes, whereas the majority of the examinations planned with 45 minutes were also completed within this time. Examinations with a planned time of 60 minutes usually took less time. A comparison between the planned time and the determined examination duration of the most common types of examinations showed overall a slight potential for optimization. Coil exchanges between two examinations had a small, but statistically not significant effect on the median changeover time ($p = 0.062$).

Conclusion Utilizing a software-based analysis, a detailed overview of the type of examination, examination duration, and changeover times of frequently used clinical MRI scanners could be obtained. In the clinic examined, there was little potential for optimization of examination planning. An exchange of MRI coils necessary for different types of examination only had a small effect on the changeover times.

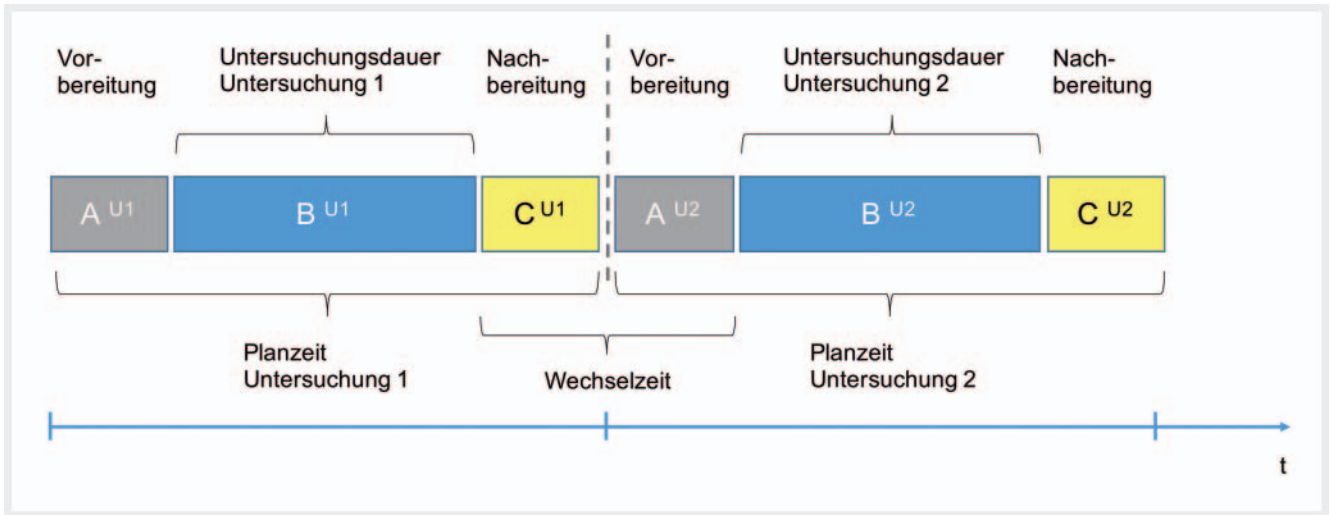
Einleitung

Durch den zunehmenden Kostendruck im Gesundheitswesen besteht auch in der Radiologie die Notwendigkeit zur Optimierung von Untersuchungs- und Befundungsprozessen bei gleichzeitig zu erbringender höchstmöglicher Qualität der Untersuchungsleistungen [1, 2]. Bisherige Ansätze fokussierten sich dabei auf eine Verbesserung der Prozessabläufe vor allem in den schnittbildgebenden Verfahren wie Computertomografie (CT), Magnetresonanztomografie (MRT) und dem Ultraschall [3–5]. Beabsichtigt ist damit eine möglichst hohe Auslastung der Untersuchungsgeräte bei gleichzeitig geringen Leerstandzeiten, welche vor allem in der MRT mit hohen (Opportunitäts-) Kosten verbunden sind [6, 7].

Allerdings gestaltet sich in großen Kliniken die optimale Auslastung verfügbarer MRT-Geräte weiterhin schwierig, zumal eine Vielzahl teils sehr aufwendiger Untersuchungsverfahren mit verschiedenen MRT-Spulen angeboten werden müssen, bei gleichzeitiger exakter Koordination der zeitlich passenden Verfügbarkeit schwer kranker und zumeist immobiler Patienten von verschiedenen Stationen. Zudem kann die Länge auch gleichartiger

Untersuchungen in Abhängigkeit von der Compliance der Patienten stark schwanken [8]. Dabei erfolgt die Planung zur Belegung unterschiedlicher MRT-Scanner bisher oftmals durch das administrative Personal im Sinne einer „Pseudooptimierung“, basierend auf etablierten Erfahrungswerten aus der Vergangenheit. Bei einer retrospektiven Betrachtung bleibt man damit jedoch zumeist hinter einem erzielbaren Optimum zurück [9]. Allerdings verfügen moderne MRT-Scanner über assoziierte IT-Anwendungen, mit denen detaillierte Daten über die tatsächliche Nutzung der Geräte verfügbar gemacht werden [10, 11].

Ziel der Studie war es, unter Verwendung einer neu verfügbaren Software-Applikation einen umfassenden und detaillierten Überblick über die Verwendung von 2 klinisch stark frequentierten MRT-Scannern in Bezug auf Untersuchungsart, Untersuchungsdauer und Wechselzeiten zu erlangen und zu evaluieren, ob sich daraus ein Optimierungspotenzial für die Untersuchungsplanung in der täglichen klinischen Routine der MRT-Diagnostik ableiten lässt.



► **Abb. 1** Die verschiedenen Abschnitte des MRT-Untersuchungsprozesses, aufgeteilt nach Vorbereitung (A^{U1}), Untersuchungsdauer Untersuchung 1 (B^{U1}) und Nachbereitung (C^{U1}). Die Abschnitte der folgenden Untersuchung 2 sind entsprechend als A^{U2}, B^{U2}, C^{U2} bezeichnet.

Material und Methoden

Die vorliegende Studie wurde in der Klinik für Radiologie einer Schweizer Universitätsklinik durchgeführt. Im Rahmen einer institutsinternen Erhebung wurden die Untersuchungsdauern und Wechselzeiten von MRT-Untersuchungen an 2 MRT-Scannern (1,5 Tesla (T), Siemens Aera und 3 T, Siemens Skyra, beide Siemens Healthcare, Erlangen, Deutschland) einer detaillierten retrospektiven Analyse unterzogen. Das einbezogene Untersuchungsspektrum umfasste sämtliche MRT-Untersuchungen (Körperregionen bzw. Themenbereiche: Abdomen, Urologie, Thorax, Herz, Mamma und muskuloskelettales System) der Klinik mit Ausnahme neurologischer Untersuchungen, welche von der eigenständigen Klinik für Neuroradiologie vorgenommen wurden.

Der Ablauf einer MRT-Untersuchung stellte sich jeweils wie folgt dar: Nach Überweisung durch einen zuweisenden Arzt und Prüfung der Indikationsstellung durch klinikeigene Fachärzte für Radiologie wurde durch die Disposition der radiologischen Klinik die zeitliche Planung aller Untersuchungen und deren Abfolge organisiert. Nach Eintreffen der Patienten und einer Aufklärung über die Untersuchung sowie ggf. nötige Gabe von intravenösem (i. v.) Kontrastmittel wurde eine Vorbereitung der Patienten auf die MRT-Untersuchung durch das radiologische Fachpersonal durchgeführt (z. B. Legen einer Flexüle) und entsprechende Vorbereitungen im MRT-Raum, wie beispielsweise das Anbringen und Einstellen der Spulen, vorgenommen. Es folgte sodann die Untersuchung im MRT-Scanner gemäß dem vorab festgelegten Sequenzprotokoll. Nach Beendigung der Untersuchung wurden die Patienten aus dem MRT-Raum hinausbegleitet. Ambulante Patienten verließen anschließend die Abteilung, während stationäre Patienten durch den rechtzeitig vorab organisierten Transportdienst abgeholt wurden. Abschließend erfolgte die Reinigung des Raums durch radiologisches Fachpersonal und der Prozess startete mit einer nachfolgenden Untersuchung erneut. In der radiologischen Klinik wurden grundsätzlich jeweils 2 Personen

medizinisch-technischen Fachpersonals gleichzeitig je MRT-Scanner eingesetzt.

Für alle Untersuchungen war klinikintern eine Planzeit von entweder 30, 45 oder 60 Minuten definiert. Dabei enthielt diese Planzeit die erwartete Untersuchungsdauer [B^{U1}] inklusive einer Vor- und Nachbereitungszeit [A^{U1} und C^{U1}] (► **Abb. 1**). Als Untersuchungsdauer [B^{U1}] wurde der Zeitraum zwischen dem Zeitpunkt der Erstellung des ersten Bildes einer MRT-Untersuchung und dem Ende der Aufnahme des letzten Bildes definiert. Die Wechselzeit wurde als Zeitraum zwischen dem Ende der Untersuchung und dem Beginn der Folgeuntersuchung definiert. Sie setzte sich somit aus der Nachbereitungszeit einer Untersuchung [C^{U1}] sowie der Vorbereitungszeit für die jeweilige Folgeuntersuchung [A^{U2}] zusammen.

Als Analysezeitraum wurden 12 Monate vom 1. März 2017 bis 28. Februar 2018 berücksichtigt. Die untersuchungsspezifischen detaillierten Daten wurden mittels einer Abfrage mit der Software-Applikation „Teampay Usage“ (Siemens Healthineers, Erlangen, Deutschland) erhoben, die der radiologischen Klinik für den oben genannten Zeitraum im Rahmen dieser Studie zur Verfügung stand. Die Applikation nutzte Daten direkt von den Konsolen an den MRT-Scannern und erfasste basierend auf den DICOM-Daten der Untersuchungen die Untersuchungsart, das Datum der Untersuchung, den Startzeitpunkt sowie den Endzeitpunkt. Die Untersuchungsdauer und die Wechselzeit zwischen 2 Untersuchungen wurden hieraus automatisiert errechnet. Die Zeitdauern wurden sekundengenau erfasst (in Stunden:Minuten:Sekunden). Vorselektionen wurden durch die Applikation nicht vorgenommen. Es war zu berücksichtigen, dass vor Erstellung des ersten DICOM-Bildes vorgelagerte Prozesse, wie z. B. die Homogenisierung des Magnetfeldes („Shimming“), erforderlich waren. Diese Zeiten wurden durch die Applikation nicht separat erfasst. Sie können sich je nach Körperregion, Patientenkonstitution oder Feldstärke des MRT-Scanners unterscheiden und variieren in der Regel zwischen ca. 15 und 30 Sekunden. In dieser Studie waren sie Bestandteil der Vorbereitungszeit. Die Bezeichnung der Untersu-

► **Tab. 1** Anzahl und Anteil an Untersuchungen beider MRT-Scanner (n = 7184; 1,5T = 3740, 3T = 3444) in Bezug auf die geplante Untersuchungsdauer (Planzeit) und dabei ermittelte mediane Untersuchungsdauer (mUD). Darüber hinaus Darstellung der mUD inklusive einer Vor- und Nachbereitungszeit von 9 Minuten. Zudem Abbildung der Differenz zwischen Planzeit und mUD inklusive der Vor- und Nachbereitungszeit. Zeiten sind in Stunden, Minuten, Sekunden (hh:mm:ss) angegeben.

MRT-Scanner und Anzahl Untersuchungen	Planzeit	Anzahl Untersuchungen	Anteil Untersuchungen	Mediane Untersuchungsdauer (mUD)	mUD ¹	Δ zwischen Planzeit und mUD ¹
1,5T-MRT n = 3740	0:30:00	905	24,2 %	0:30:58	0:39:58	-0:09:58
	0:45:00	2488	66,5 %	0:34:36	0:43:36	0:01:24
	1:00:00	347	9,3 %	0:40:07	0:49:07	0:10:53
3T-MRT n = 3444	0:30:00	885	25,7 %	0:29:03	0:38:03	-0:08:03
	0:45:00	2481	72,0 %	0:34:32	0:43:32	0:01:28
	1:00:00	78	2,3 %	0:44:00	0:53:00	0:07:00

¹ inkl. Vor- und Nachbereitungszeit von 9 min.

chungsarten an den MRT-Konsolen basierte auf den im Radiologischen Informationssystem (RIS) hinterlegten Bezeichnungen. Dabei entsprachen bei den meisten Untersuchungsarten die Bezeichnungen im RIS den durchgeführten Sequenzprotokollen (z. B. MRT Knie). Bezeichnungen wie „MRT Abdomen“ umfassten jedoch verschiedene spezifische Protokolle der Leber. „MRT Becken“ beinhaltete Sequenzprotokolle für die Prostata oder das Beckentumorstaging.

In einem ersten Teil der Studie wurden die tatsächlichen Untersuchungsdauern sämtlicher Untersuchungen bzw. Untersuchungsarten an beiden MRT-Scannern analysiert. Für alle Untersuchungen wurde eine mediane Untersuchungsdauer ermittelt, inklusive einer konstanten Vor- und Nachbereitungszeit von 9 Minuten. Diese Vor- und Nachbereitungszeit resultierte aus der Betrachtung der Häufigkeitsverteilung aller Wechselzeiten, die innerhalb der Kernarbeitszeit (werktags Montag bis Freitag zwischen 06.45 Uhr und 18.45 Uhr) erfasst wurden. Es erfolgte eine Überprüfung der Einhaltung der Planzeiten (30, 45 oder 60 Minuten) und eine Analyse von Planzeitabweichungen. Zusätzlich wurde für jede Untersuchungsart deren Anzahl und Anteil an der Gesamtmenge der analysierten Untersuchungen sowie die jeweilige mediane Untersuchungsdauer ermittelt. Bei der Auswertung wurde auf die 10 am häufigsten durchgeführten Untersuchungsarten (Top 10) beider Scanner fokussiert.

In einem zweiten Teil der Studie wurde eine Analyse der Wechselzeiten vorgenommen. Bei Betrachtung der Wechselzeiten wurden diejenigen Untersuchungen berücksichtigt, die innerhalb der o. g. Kernarbeitszeit durchgeführt und abgeschlossen wurden. Anzahl und mediane Wechselzeiten der Kombinationen, d. h. der Abfolgen verschiedener Untersuchungsarten, wurden für beide MRT-Scanner gemeinsam ermittelt. Der Fokus wurde auf diejenigen Kombinationen gelegt, die mindestens 20-mal vorkamen. Im Rahmen der Wechselzeitenanalyse wurden sodann die 5 häufigsten Kombinationen ermittelt und diejenigen, deren Wechsel am längsten dauerten.

Weiterhin wurde überprüft, ob das Beibehalten einer MRT-Spule bei 2 aufeinanderfolgenden Untersuchungen mit geringeren media-

nen Wechselzeiten einherging als im Falle, dass ein Austausch erforderlich war. Es wurden jeweils alle Untersuchungen der 5 häufigsten Kombinationen miteinander verglichen, bei denen ein Beibehalten bzw. ein Austausch der MRT-Spule erfolgte. Die Signifikanz des Unterschieds wurde mittels eines Mood's-Median-Tests überprüft mit einem Signifikanzniveau von $p = 0,05$. Für alle Auswertungen im Rahmen dieser Studie wurden Excel 2010 für Windows (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) und R (Version 3.6.3, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria) verwendet.

Ergebnisse

Analyse der Untersuchungsdauern

In dem ersten Teil der Studie zur Analyse der Untersuchungsdauern wurden im betrachteten Zeitraum insgesamt 7184 MRT-Untersuchungen einbezogen, davon 3740 (52,1 %) im 1,5-Tesla-MRT-Scanner (1,5 T) und weitere 3444 (47,9 %) Untersuchungen im 3-Tesla-MRT-Scanner (3 T), wobei insgesamt 34 verschiedene Untersuchungsarten vorkamen.

Die mediane Untersuchungsdauer des gesamten Untersuchungsvolumens betrug 43:02 Minuten (1,5T: 43:17 min; 3T: 42:45 min) inklusive einer Vor- und Nachbereitungszeit von 9 Minuten. Die Häufigkeitsverteilung der Wechselzeiten innerhalb der Kernarbeitszeiten zeigte, dass mit rund 27 % der höchste Anteil von Wechselzeiten zwischen 6 und 9 Minuten lag. Ein Anteil von 48,2 % (1801/3740) aller Untersuchungen im 1,5T-MRT-Scanner und 47,4 % (1632/3444) aller Untersuchungen im 3T-MRT-Scanner wurden innerhalb der definierten Planzeit durchgeführt. Die Anzahl und der jeweilige Anteil der Untersuchungen mit einer Planzeit von 30, 45 und 60 Minuten finden sich in ► **Tab. 1**. Insgesamt betrachtet dauerten Untersuchungen, für die 30 Minuten eingeplant wurden, bei beiden MRT-Scannern länger (1,5T: 39:58 min; 3T: 38:03 min). Hingegen konnte der höchste Anteil an Untersuchungen mit einer Planzeit von 45 Minuten innerhalb dieser Zeit abgeschlossen werden. Für den geringen Anteil an

► **Tab. 2** Die häufigsten Untersuchungsarten (Top 10: 1,5T = 3031; 3T = 2783) beider MRT-Scanner (1,5 T und 3 T) mit entsprechender Häufigkeit der Durchführung; Anteil am Gesamtvolumen; Planzeit; mediane Untersuchungsdauer (mUD); Differenz zwischen Planzeit und mUD inkl. Vor- und Nachbereitungszeit von 9 Minuten; Anteil Untersuchungen inkl. Vor- und Nachbereitungszeit von 9 Minuten, die innerhalb der Planzeit begonnen und abgeschlossen wurden. Zeiten sind in Stunden, Minuten, Sekunden (hh:mm:ss) angegeben.

Untersuchungsarten Top 10 je MRT-Scanner	Anzahl Untersuchungen	Anteil am Gesamtvolumen je MRT-Scanner	Planzeit	mediane Untersuchungs-dauer (mUD)	mUD ¹	Δ zwischen Planzeit und mUD ¹	Anteil Untersuchungen ¹ innerhalb Planzeit
1,5T-MRT-Scanner							
Halsweichteile ²	781	20,9%	0:45:00	0:34:53	0:43:53	0:01:07	62,0%
Abdomen ³	679	18,2%	0:45:00	0:34:09	0:43:09	0:01:51	61,9%
Angiografie aller Gefäße	297	7,9%	0:45:00	0:37:37	0:46:37	-0:01:37	43,1%
Knie	289	7,7%	0:30:00	0:26:56	0:35:56	-0:05:56	3,1%
Becken ⁴	278	7,4%	0:45:00	0:36:44	0:45:44	-0:00:44	47,8%
Thorax	198	5,3%	0:45:00	0:28:42	0:37:42	0:07:18	77,3%
Dünndarm	152	4,1%	1:00:00	0:40:45	0:49:45	0:10:15	82,9%
Lendenwirbelsäule	138	3,7%	0:30:00	0:32:17	0:41:17	-0:11:17	13,0%
Nieren/Nebennieren	126	3,4%	0:45:00	0:27:51	0:36:51	0:08:09	86,5%
MRT-gesteuerte Biopsie	93	2,5%	1:00:00	0:39:20	0:48:20	0:11:40	73,5%
3T-MRT-Scanner							
Becken ⁴	772	22,4%	0:45:00	0:37:02	0:46:02	-0:01:02	42,2%
Abdomen ³	674	19,6%	0:45:00	0:34:59	0:43:59	0:01:01	58,8%
Mamma	346	10,0%	0:45:00	0:25:28	0:34:28	0:10:32	94,5%
Knie	282	8,2%	0:30:00	0:24:15	0:33:15	-0:03:15	8,5%
Angiografie aller Gefäße	187	5,4%	0:45:00	0:35:07	0:44:07	0:00:53	55,6%
Nieren/Nebennieren	153	4,4%	0:45:00	0:29:47	0:38:47	0:06:13	75,8%
Lendenwirbelsäule	105	3,0%	0:30:00	0:32:29	0:41:29	-0:11:29	21,0%
Hand und/oder Finger	97	2,8%	0:45:00	0:29:54	0:38:54	0:06:06	73,2%
Thorax	85	2,5%	0:45:00	0:33:58	0:42:58	0:02:02	60,0%
Fuß	82	2,4%	0:30:00	0:33:54	0:42:54	-0:12:54	7,3%

¹ inkl. Vor- und Nachbereitungszeit von 9 min.

² MRT Halsweichteile beinhaltet folgende Untersuchungsprotokolle: MRT Hals, MRT Parotis und MRT Gesichtsschädel.

³ MRT Abdomen beinhaltet folgende Untersuchungsprotokolle: MRT Leber, MRT Leber nach Lebertransplantation, MRT Leber mit Hepatozyten-spezifischem Kontrastmittel.

⁴ MRT Becken beinhaltet folgende Untersuchungsprotokolle: MRT Prostata, MRT Becken-Tumorstaging.

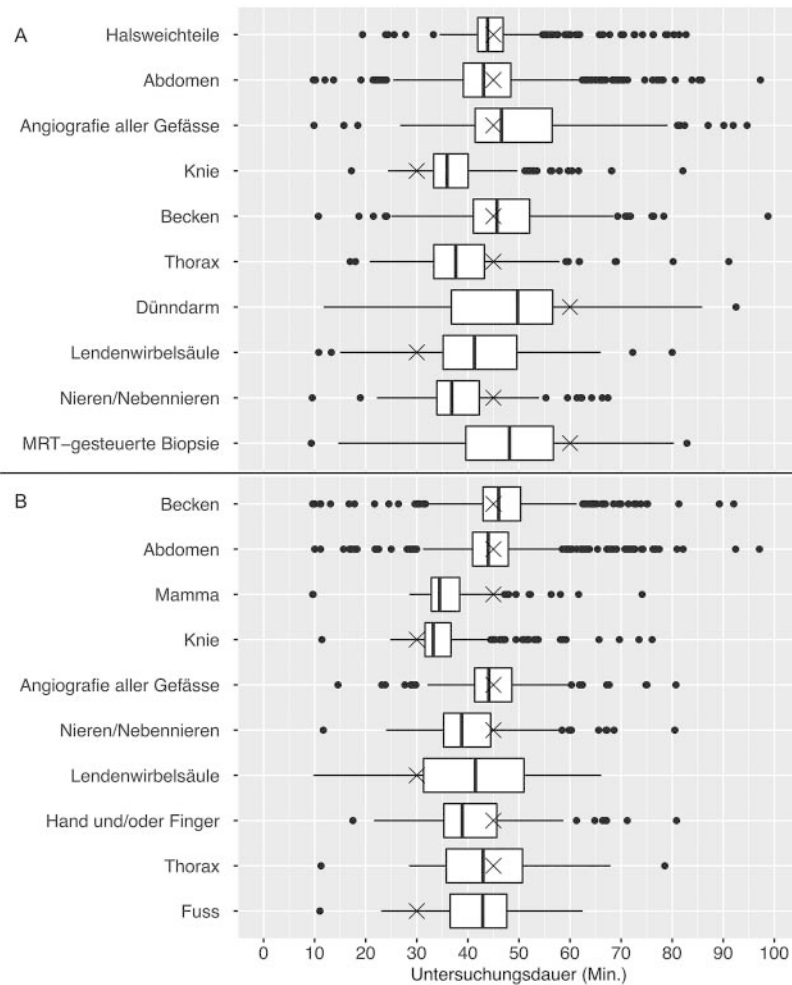
Untersuchungen, die mit 60 Minuten geplant wurden, wurde weniger Zeit aufgewandt (1,5T: 49:07 min; 3T: 53:00 min).

Bei Betrachtung beider Scanner machten die 10 am häufigsten durchgeführten Untersuchungsarten (Top 10) im 1,5T-MRT-Scanner einen Anteil von 81,0% (3031/3740) und im 3T-MRT-Scanner einen Anteil von 80,8% (2783/3444) der Gesamtuntersuchungsmenge aus.

Wurden bei den medianen Untersuchungsauern jeweils 9 Minuten an Vor- und Nachbereitungszeit berücksichtigt, so lag bei den 10 am häufigsten durchgeführten Untersuchungsarten (Top 10) im 1,5T-Scanner ein Anteil von 54,5% (1652/3031) und im 3T-Scanner ein Anteil von 51,9% (1443/2783) innerhalb der definierten Planzeit. Eine detaillierte Aufteilung je Untersuchungsart und je MRT-Scanner zeigt ► **Tab. 2**.

Im 1,5T-Scanner stellten Untersuchungen der Halsweichteile mit einem Anteil von 20,9% und einer Untersuchungs-dauer von 43:53 Minuten die häufigste Untersuchungsart dar, gefolgt von Untersuchungen des Abdomens (18,2%; 43:09 Minuten). Im 3T-Scanner wiederum wurden mit 22,4% am häufigsten Untersuchungen am Becken durchgeführt, bei einer Untersuchungs-dauer von 46:02 Minuten. Untersuchungen des Abdomens machten auch im 3T-Scanner einen vergleichsweise hohen Anteil aus (19,6%; 43:59 Minuten).

Bei beiden MRT-Scannern lag bei 6 der 10 Untersuchungsarten die mediane Untersuchungs-dauer inklusive der Vor- und Nachbereitungszeit von 9 Minuten innerhalb der initial vorgesehenen Planzeit (► **Abb. 2**). So wurde beispielsweise im 1,5T-MRT-Scanner bei den oben genannten Untersuchungen des Abdomens bei



► **Abb. 2** Boxplots der Untersuchungsdauern (in Minuten) der 10 häufigsten MRT-Untersuchungsarten (A: 1,5T-MRT-Scanner, B: 3T-MRT-Scanner). Kreuz = definierte Planzeit.

61,9% der Untersuchungen (3T: 58,8%) weniger Zeit benötigt als es die Planzeit von 45 Minuten vorsah. Zudem fand sich eine teils deutliche Unterschreitung der Planzeit auch bei aufwendigen Untersuchungen, die ausschließlich im 1,5T-MRT-Scanner durchgeführt wurden. Dies beispielsweise bei Dünndarmuntersuchungen (sog. MR-Enteroklyse) und MRT-gesteuerten Biopsien, für die jeweils 60 Minuten geplant worden waren, jedoch nur 49:45 Minuten (MRT Dünndarm) bzw. 48:20 Minuten (MRT-gesteuerte Biopsie) benötigt wurden. Weitere typische Beispiele für Untersuchungen mit einer Unterschreitung der Planzeit finden sich in ► **Tab. 2**. Im Gegensatz hierzu fanden sich jedoch auch verschiedene Untersuchungsarten mit längeren Untersuchungsdauern, verglichen mit der vorgesehenen Planzeit. So dauerten beispielsweise Untersuchungen der Lendenwirbelsäule länger als die vorgesehene Planzeit von 30 Minuten (1,5T: 41:17 min; 3T: 41:29 min).

Analyse der Wechselzeiten

Im zweiten Teil der Studie mit einer Analyse der Wechselzeiten erfolgte eine Fokussierung auf diejenigen Kombinationen von Untersuchungsabfolgen, die innerhalb der definierten Kernarbeitszeit erfasst wurden und mindestens 20-mal vorkamen ($n = 3037$). Dabei wurden zunächst die 5 häufigsten Untersuchungsabfolgen und deren mediane Wechselzeiten analysiert ($n = 862$, ► **Tab. 3**). Bei den häufigsten Kombinationen zeigte sich, dass gleiche Untersuchungsarten, wie die besonders häufig durchgeführten Untersuchungen des Abdomens, des Beckens und des Halses, auch häufig aufeinander folgten. In diesen Fällen konnte die bei der vorherigen Untersuchung verwendete MRT-Spule beibehalten werden. Mediane Wechselzeiten lagen bei den 5 häufigsten Kombinationen zwischen 07:44 und 09:42 Minuten (► **Tab. 3**). Die 5 Kombinationen mit den längsten medianen Wechselzeiten wurden genauer betrachtet ($n = 158$). Dabei lag die längste dokumentierte mediane Wechselzeit bei 16:47 Minuten mit einer Abfolge von 2 Untersuchungen des Dünndarms aufeinander. Bei den weiteren Kombinationen mit den längsten

► **Tab. 3** Untersuchungsabfolgen beider MRT-Scanner mit den 5 häufigsten (n = 862; 28,4 %; oberer Teil der Tabelle) und den 5 längsten (n = 158; 5,2 %; unterer Teil der Tabelle) medianen Wechselzeiten unter Berücksichtigung aller Untersuchungsabfolgen, die mindestens 20-mal vorkamen und innerhalb der Kernarbeitszeit lagen (n = 3037). Zeiten sind in Stunden, Minuten, Sekunden (hh:mm:ss) angegeben.

Untersuchung	Folgeuntersuchung	mediane Wechselzeit	Häufigkeit Kombination	Anteil in %
Halsweichteile	Halsweichteile	0:07:44	162	5,3 %
Becken	Becken	0:08:42	170	5,6 %
Abdomen	Halsweichteile	0:08:45	135	4,4 %
Abdomen	Abdomen	0:08:57	240	7,9 %
Abdomen	Becken	0:09:42	155	5,1 %
Halsweichteile	Dünndarm	0:13:56	21	0,7 %
Abdomen	Nieren/Nebennieren	0:14:24	34	1,1 %
Lendenwirbelsäule	Abdomen	0:14:46	30	1,0 %
Angiografie aller Gefäße	Knie	0:14:55	25	0,8 %
Dünndarm	Dünndarm	0:16:47	48	1,6 %

Wechselzeiten folgten jeweils unterschiedliche Untersuchungsarten aufeinander, was grundsätzlich auch mit einem Austausch der MRT-Spule einherging (► **Tab. 3**).

Bei einer abschließenden Gegenüberstellung der 5 häufigsten Kombinationen an Untersuchungsartabfolgen, bei denen die MRT-Spule beibehalten wurde (n = 691), mit den 5 häufigsten Kombinationen, bei denen ein Spulenaustausch (n = 639) erforderlich war, zeigte sich ein geringer und statistisch nicht signifikanter Zeitunterschied von 33 Sekunden (mediane Wechselzeit bei Beibehalten der Spule: 09:08 min versus Notwendigkeit des Spulenaustausches: 09:41 min; p = 0,062). Ein für unterschiedliche Untersuchungsarten erforderlicher Austausch der MRT-Spule hatte bei den analysierten Kombinationen keinen signifikanten Einfluss auf die Wechselzeit.

Diskussion

Prozessanalysen in der Radiologie werden seit Jahrzehnten vorgenommen und konnten einen positiven Effekt auf die Verbesserung der Ablauforganisation sowie einen Mehrwert für die Patientenbehandlung nachweisen [12–15]. Bisherige Analysen orientierten sich vielfach an kleinen Stichproben mit entsprechenden Limitationen auf den Aussagewert hinsichtlich des abzuleitenden Verbesserungspotenzials für die Organisation der Prozesse im klinischen Alltag [16].

Die in dieser Studie verwendete Analyse-Software ermöglichte einen umfassenden Überblick über die Verwendung zweier klinisch stark frequentierter MRT-Scanner in Bezug auf die evaluierten Faktoren Untersuchungsart, Untersuchungsdauer und Wechselzeit. Die medianen Untersuchungsdauern des gesamten Untersuchungsvolumens inklusive einer Vor- und Nachbereitungszeit lagen rund zur Hälfte (1,5T: 48,2%; 3T: 47,4%) innerhalb der entsprechenden Planzeit. Von den 10 häufigsten Untersuchungsarten je MRT-Scanner wurden etwas mehr als die Hälfte der Untersuchungen innerhalb der Planzeit abgeschlossen (1,5T:

54,5 %; 3T: 51,9 %). Die jeweiligen Planzeiten für MRT-Untersuchungen entsprachen damit im Durchschnitt den tatsächlichen Untersuchungsdauern inklusive ihrer Vor- und Nachbereitungszeit.

Abhängig von der Untersuchungsart wichen die Untersuchungsdauern jedoch unterschiedlich stark von der jeweiligen Planzeit ab, weshalb sich diskutieren lässt, inwieweit sich durch eine Anpassung einzelner Planzeiten Optimierungspotenzial realisieren ließe. So könnte z. B. bei den häufig durchgeführten Untersuchungen des Abdomens gemäß der ermittelten Untersuchungsdauern (1,5T: 43:09 min; 3T: 43:49 min) die Planzeit von ursprünglich 45 Minuten um eine Minute geringfügig reduziert werden. Trotz der hohen Anzahl dieser durchgeführten Untersuchungsart wäre ein Optimierungspotenzial in diesem Fall dennoch gering. Andere Untersuchungsarten hingegen mit initial höher bemessenen Planzeiten lassen mehr Optimierung zu. So könnten z. B. für Dünndarmuntersuchungen (1,5T: 49:45 min) 50 Minuten anstelle der 60 Minuten eingeplant werden. Auch würde sich bei Untersuchungen der Mamma die Reduzierung der Planzeit von 45 Minuten auf 35 Minuten (3T: 34:28 min) anbieten.

Während bei den genannten Beispielen die ermittelte Untersuchungsdauer kürzer ausfiel als es die Planzeit vorsah, gab es auch jene, die länger dauerten als geplant. Hier sollte entsprechend eine Erhöhung der Planzeit erfolgen. So bietet sich an, z. B. bei Knieuntersuchungen im 3T-MRT-Scanner die Planzeit von 30 Minuten auf 35 Minuten anzupassen, da hier Untersuchungen im Median 33:15 Minuten dauerten.

Im Rahmen der Diskussion wurde auf Basis der Ergebnisse (► **Tab. 2**) exemplarisch für die 10 häufigsten Untersuchungsarten beider MRT-Scanner die Planzeiten angepasst, um mögliches Optimierungspotenzial festzustellen. Dazu wurden jene Untersuchungsdauern auf ganze Minuten aufgerundet und als „optimierte“ Planzeit gesetzt. Für das Untersuchungsspektrum eines Jahres wurden im 1,5T-MRT-Scanner rund 35 Stunden und im 3T-MRT-Scanner 13 Stunden ermittelt. Auf diese Weise ließe sich durch Anpassung der Planzeiten für die untersuchte Klinik ein geringes

Optimierungspotenzial ableiten. In diesem Kontext ist jedoch zu diskutieren und kritisch zu hinterfragen, inwieweit eine minuten-genaue Planung in der Realität tatsächlich praktikabel ist. Auch wenn eine solche präzise Planung theoretisch zwar möglich ist, dürfte diese in der Praxis organisatorisch eher schwierig umzusetzen sein. Es bietet sich an, in mindestens 5-Minuten-Intervallen zu planen, um einen gewissen zeitlichen Spielraum („Puffer“) für diejenigen Untersuchungen zu haben, die mehr Zeit in Anspruch nehmen als ursprünglich geplant. Eine 5-minütige Staffelung bei der Planung, z. B. ein Aufrunden auf 45 Minuten für Untersuchungen der Lendenwirbelsäule (1,5T: 41:17 min; 3T: 41:29 min), würde ein Optimierungspotenzial im Vergleich zu einer minuten-genaue Planung entsprechend verringern. Es ist zu berücksichtigen, dass die zeitliche Planung der Untersuchungen und deren vor- sowie nachgelagerten Prozessschritte derart organisiert werden sollten, dass MRT-Kapazitäten bestmöglich genutzt und Leerzeiten entsprechend niedrig gehalten werden. Es sollte abgewogen werden, bei welchen Untersuchungsarten eine Anpassung der Planzeit praktikabel ist, um eine deutliche Diskrepanz zwischen tatsächlicher Untersuchungsdauer und Planzeit zu vermeiden.

Optimierungspotenzial ließe sich durch Änderungen im Prozessablauf freisetzen, wenn Zeiten für die Vor- und Nachbereitung geringer ausfielen als die im Rahmen dieser Studie verwendeten 9 Minuten. Im Hinblick auf die Möglichkeiten einer Verkürzung von MRT-Wechselzeiten überprüften Recht et al. [17] den Einfluss der verbesserten räumlichen Anordnung der MRT-Untersuchungseinheiten auch unter Verwendung von mobilen und frei an die verschiedenen MRT-Scanner koppelbaren Untersuchungstischen. Durch beide Maßnahmen konnten die medianen Wechselzeiten je Patient von 481 auf 141 Sekunden je Patient signifikant reduziert werden. Diese Reduzierung war vor allem durch die verbesserte Vorbereitung der Patienten, eine Anbringung der Spulen in einem separaten Vorbereitungsraum und das Anlegen venöser Flexülen außerhalb des Untersuchungsraums möglich. Die Bedeutung von Zeitverlusten in den Untersuchungsabläufen der MRT-Diagnostik untersuchten Beker et al. [16] und fanden dabei heraus, dass bei etwa einem Drittel der Zeit kein unmittelbarer Patientennutzen erzeugt wurde (sog. „non-value-added time“). Als besonders häufige Ursachen hierfür fanden sie Probleme beim Legen venöser Zugänge und bei der Verfügbarkeit optimal für die Untersuchung vorbereiteter Patienten.

Weitere Studien empfahlen eine Reihe von Maßnahmen zur unmittelbaren Verbesserung der Prozessabläufe, wie z. B. eine hohe Standardisierung der Prozesse, eine klare Definition der Verantwortlichkeiten für verschiedene Personalgruppen und eine Verbesserung der Untersuchungsprotokollierung [15, 18]. O'Brien et al. [19] zeigten dabei, dass durch eine konsequente Anwendung von solchen Verbesserungsmaßnahmen der Patientenplanung und durch eine inhaltliche Optimierung der MRT-Untersuchungsprotokolle eine signifikante Verkürzung der Raumnutzungszeit von durchschnittlich 46,3 auf 43,6 Minuten möglich war ($p = 0,009$). Die hierdurch ermöglichte Kosteneinsparung betrug bis zu 3 Mio. USD jährlich.

Es sollte abgewogen werden, inwieweit eine Reduzierung der Vor- und Nachbereitungszeit durch den Einsatz von mehr Personal erzielt werden könnte, wenngleich höhere Personalkosten dem

Einsparpotenzial durch kurze Wechselzeiten direkt entgegenstehen. In unserer Klinik werden grundsätzlich jeweils 2 Personen medizinisch-technischen Fachpersonals gleichzeitig je Gerät eingesetzt. Diese im Vergleich mit anderen Kliniken und radiologischen Praxen komfortable Ausstattung mit Personal ist zum Teil auf die Verfügbarkeit von Auszubildenden zurückzuführen. Unter den 4 Personen an 2 MRT-Scannern befindet sich zumeist eine auszubildende Person. Wie in der Studie gezeigt werden konnte, hatte ein Austausch der MRT-Spulen bei aufeinanderfolgenden Untersuchungen keinen signifikanten Einfluss auf die Länge der Wechselzeiten, zumindest im Hinblick auf häufig vorkommende Kombinationen. Dies könnte ebenfalls auf die Personalausstattung zurückzuführen sein. So ist es bei durchgängiger Verfügbarkeit von 2 medizinisch-technischen Assistenten möglich, dass sich bei einem Untersuchungswechsel eine Person um die Vor- und Nachbereitung der Patienten kümmert und eine andere Person den ggf. erforderlichen Spulenaustausch vornimmt und den Untersuchungstisch vorbereitet.

Als Limitation unserer Studie ist vor allem zu nennen, dass sie an einem großen Universitätsklinikum mit einem Maximalversorgungsauftrag durchgeführt wurde. Das Spektrum der Untersuchungen war dabei sehr vielfältig und auch Untersuchungen, die nicht im ambulanten Sektor angeboten würden, wurden mit einbezogen. Die hierdurch bedingten Wechselzeiten sind auch durch die Untersuchung von vielfach immobilen stationären Patienten somit vermutlich höher als in ambulanten Praxen und nur eingeschränkt auf diese übertragbar. Der Befund zu besonders zeitintensiven Wechseln zwischen Untersuchungsarten sollte jedoch auch im ambulanten Sektor zutreffen. Zudem können Kliniken und Praxen unterschiedlicher Größe mit geringem Aufwand die eigene durchschnittliche Wechselzeit ermitteln und basierend auf den Effekten von Planzeitvariationen die Auswirkungen auf das eigene Optimierungspotenzial abschätzen. Mit der verwendeten Software konnten bestimmte Merkmale der Untersuchungen nicht abgefragt werden. So konnte beispielsweise die Art der Mobilität der Patienten (mobil oder immobil), die Art der Zuweisung (ambulant oder stationär) oder der Anteil abgebrochener Untersuchungen nicht abgerufen werden. Auch konnte keine Unterscheidung zwischen Untersuchungen getroffen werden, die mit oder ohne intravenös verabreichtem Kontrastmittel durchgeführt wurden. Der Detailgrad der Ergebnisse hängt von den vorab definierten Untersuchungsbezeichnungen im RIS ab. In unserer Klinik sind z. B. unter der Bezeichnung „MRT Abdomen“ verschiedene Sequenzprotokolle der Leber zusammengefasst, die gering unterschiedliche Zeitdauern aufweisen. Dies sollte letztlich nur zu einer geringen Beeinflussung der Ergebnisse geführt haben. Grundsätzlich ermöglicht die verwendete Software die Analyse großer Mengen von Untersuchungen. Für Anwender ist jedoch zu beachten, dass Abfrageergebnisse überschaubar bleiben und eine Ableitung von Handlungsempfehlungen für die klinische Praxis erlauben.

Ob eine Vorhersage tatsächlicher Untersuchungszeiten möglich ist, analysierten Avey et al. [20]. Sie untersuchten maßgebliche Einflussfaktoren auf die Variation der Untersuchungsdauern bei einem identischen MRT-Untersuchungsprotokoll des Halses. Dabei fanden sie heraus, dass Untersuchungsdauern vor allem von der durchführenden medizinisch-technischen Fachperson

abhängig waren und Untersuchungen bei stationären Patienten sowie bei Notfalluntersuchungen signifikant länger dauerten.

Als Schlussfolgerung der Studie kann festgehalten werden, dass die verwendete Analyse-Software einen detaillierten Überblick über die tatsächliche Nutzung hochfrequenzierter klinischer MRT-Scanner ermöglichte. In der radiologischen Klinik, in der die Studie durchgeführt wurde, ließ sich ein geringes Optimierungspotenzial für die Untersuchungsplanung in der MRT-Diagnostik ableiten.

Interessenkonflikt

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- [1] Swensen SJ, Johnson CD. Radiologic quality and safety: mapping value into radiology. *Journal of the American College of Radiology: JACR* 2005; 2: 992–1000
- [2] Rubin GD. Costing in Radiology and Health Care: Rationale, Relativity, Rudiments, and Realities. *Radiology* 2017; 282: 333–347
- [3] Rawson JV, Kannan A, Furman M. Use of Process Improvement Tools in Radiology. *Current problems in diagnostic radiology* 2016; 45: 94–100
- [4] Qiu H, Wang D, Wang Y et al. MRI appointment scheduling with uncertain examination time. *Journal of Combinatorial Optimization* 2019; 37: 62–82
- [5] Maurer MH, Hamm B, Teichgräber U. ServiceBlueprinting as a service management tool in radiology. *European journal of radiology* 2011; 79: 333–336
- [6] Wessman BV, Moriarity AK, Ametlli V et al. Reducing barriers to timely MR imaging scheduling. *Radiographics: a review publication of the Radiological Society of North America, Inc* 2014; 34: 2064–2070
- [7] Roth CJ, Boll DT, Wall LK et al. Evaluation of MRI acquisition workflow with lean six sigma method: case study of liver and knee examinations. *Am J Roentgenol American journal of roentgenology* 2010; 195: W150–W156
- [8] Talati IA, Krishnan P, Filice RW. Developing Deeper Radiology Exam Insight to Optimize MRI Workflow and Patient Experience. *Journal of digital imaging* 2019; 32: 865–869
- [9] Tokur S, Lederle K, Terris DD et al. Process analysis to reduce MRI access time at a German University Hospital. *International journal for quality in health care: journal of the International Society for Quality in Health Care* 2012; 24: 95–99
- [10] Siemens Healthineers: Teamplay performance management applications. Erlangen, Germany, 2020.
- [11] Jones S, Cournane S, Sheehy N et al. A Business Analytics Software Tool for Monitoring and Predicting Radiology Throughput Performance. *Journal of digital imaging* 2016; 29: 645–653
- [12] Revesz G, Shea FJ, Ziskin MC. Patient flow and utilization of resources in a diagnostic radiology department. *Radiology* 1972; 104: 21–26
- [13] Janower ML. Radiology department management system: technologists' costs. *Radiology* 1986; 159: 566
- [14] Recht M, Macari M, Lawson K et al. Impacting key performance indicators in an academic MR imaging department through process improvement. *Journal of the American College of Radiology: JACR* 2013; 10: 202–206
- [15] Rosenkrantz AB, Lawson K, Ally R et al. Focused process improvement events: sustainability of impact on process and performance in an academic radiology department. *Journal of the American College of Radiology: JACR* 2015; 12: 75–81
- [16] Beker K, Garces-Descovich A, Mangosing J et al. Optimizing MRI Logistics: Prospective Analysis of Performance, Efficiency, and Patient Throughput. *Am J Roentgenol American journal of roentgenology* 2017; 209: 836–844
- [17] Recht MP, Block KT, Chandarana H et al. Optimization of MRI Turnaround Times Through the Use of Dockable Tables and Innovative Architectural Design Strategies. *Am J Roentgenol American journal of roentgenology* 2019; 212: 855–858
- [18] Kruskal JB, Reedy A, Pascal L et al. Quality initiatives: lean approach to improving performance and efficiency in a radiology department. *Radiographics: a review publication of the Radiological Society of North America, Inc* 2012; 32: 573–587
- [19] O'Brien JJ, Stormann J, Roche K et al. Optimizing MRI Logistics: Focused Process Improvements Can Increase Throughput in an Academic Radiology Department. *Am J Roentgenol American journal of roentgenology* 2017; 208: W38–W44
- [20] Avey GD, Belden DS, Zea RD et al. Factors predicting the time-length variability of identically protocolled MRI exams. *Journal of magnetic resonance imaging: JMIR* 2019; 49: e265–e270