

Kosten- und Nutzenanalyse der intraoperativen 3D-Bildgebung

Mit dem Gesundheitsreformgesetz 2000 wurden durch den deutschen Gesetzgeber weit reichende Änderungen zur Finanzierung im Krankenhausbereich eingeleitet. Ab 2003 kam zunächst in einigen Kliniken und ab 2005 flächendeckend in Deutschland ein pauschalierendes Entgeltsystem zum Einsatz, welches sich an den diagnosebezogenen Fallgruppen (diagnosis related group, DRG) orientiert [8].

In Deutschland wurde nach eingehender Prüfung bestehender DRG-Systeme ein Vertrag über die Nutzung des australischen DRG-Systems geschlossen. Mit der Anpassung und der Weiterentwicklung auf deutsche Verhältnisse wurden aus den AR-DRG die „German diagnosis related groups“ (G-DRG [8]). DRG bilden eine wesentliche Basis für die Finanzierung, Budgetierung und Abrechnung und erfordern eine Neudefinition von Art, Umfang, Inhalt und Organisation der in einem Krankenhaus erbrachten medizinischen Leistungen.

Damit einhergehend wurden in vielen Krankenhäusern die Abteilungen zu Profitcentern und finanziell mit einem Gesamtbudget ausgestattet. Dadurch stellt sich die Frage nach Investitionen hinsichtlich medizinischer und finanzieller Kriterien auch auf Abteilungsebene. Insbesondere muss vor einer größeren Investition möglichst prospektiv eine Kosten-Nutzen-Rechnung durchgeführt werden.

Kostendiskussion

Der medizinische Mehrwert einer intraoperativen 3D-Bildgebung ist unbestritten [1, 3, 4, 6, 9, 10, 11, 13]. Der größte Nachteil eines 3D-Bildwandlers (z. B. des Iso^{3D}, Siremobil, Fa. Siemens, Erlangen) sind die hohen Anschaffungs- und Folgekosten, welche etwa doppelt so hoch sind, wie ein konventionelles C-Arm-System (■ **Tab. 1**). Zudem müssen Lagerungshilfen und ein Tischsystem aus strahlentransparentem Material (z. B. Karbon) angeschafft werden [Üblicherweise werden die Anschaffungskosten über 8 Jahre abgeschrieben. Bei Anschaffung des Iso-C^{3D} anstelle eines neuen 2D-Bildwandlers werden die jährlichen Abschreibungskosten des 2D-Bildwandlers von denen des Iso-C^{3D} abgezogen (s. unten)].

Ein Einsparpotenzial besteht in einer Reduktion von postoperativen CT-Untersuchungen sowie einer geringeren Rate von postoperativen Revisionen. Gerade bei der Versorgung komplexer Frakturen, insbesondere im Wirbelsäulen-, Becken- und Gelenkbereich werden im Rahmen der postoperativen 3D-Bildgebung mittels Computertomographie (CT) revisionspflichtige Implantatfehllagen und/oder Gelenkstufen identifiziert. Diese könnten durch die intraoperative Anwendung eines 3D-Bildwandlers reduziert werden. Durch die ebenfalls zu erwartende Entlastung der radiologischen

Abteilungen können freie Kapazitäten für andere dringende oder auch externe Untersuchungen genutzt werden, da die Systemressourcen für eine CT in einem größeren Zeitrahmen für andere Untersuchungen zur Verfügung ständen. Zwar wurde in einer Arbeit auf das Einsparpotenzial durch eine intraoperative 3D-Bildgebung hingewiesen, eine Kosten-Nutzen-Analyse ist jedoch noch nicht durchgeführt worden [2].

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, eine Kosten- und Nutzenanalyse im ersten vollständigen Nutzungsjahr des Iso-C^{3D} an unserer Klinik durchzuführen, um eine größere Transparenz für Anwender zu erzeugen.

Material und Methoden

Ein mobiler 3D-Bildwandler, der Iso-C^{3D} (Siremobil), wurde aus dem Budget der Unfallchirurgischen Klinik der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH) im August 2002 erworben. Die Anschaffungskosten betragen 185.999,65 EUR. Nach einer Testphase war der Iso-C^{3D} seit dem 01.01.03 im Routineeinsatz. Eine Herstellergarantie bestand bis August 2003. Die Kostenkalkulation erfolgte in Abstimmung an das MHH-Controlling und unter Berücksichtigung vorhandener Literatur [2, 5, 14]. Der Zeitraum der Kostenkalkulation der vorliegenden Untersuchung umfasst das Kalenderjahr 2003. Der folgende Ansatz wurde in Abstimmung mit

dem MHH Controlling zugrunde gelegt (■ **Tab. 1**):

Die Anschaffungskosten werden über 8 Jahre abgeschrieben, was eine jährliche Belastung des Budgets von 22.814 EUR Folge hat. Die jährlichen Kosten für Wartung (quartalsweise eine Konstanzprüfung für 70 EUR) und Reparatur beliefen sich nach Ablauf der Garantie seit August 2003 bis November 2005 auf 9691,87 EUR. Für diese Studie wurden diese Kosten durch 2 Jahre (August 2003 bis August 2005) geteilt, also 5126 EUR/Jahr. Dieser Betrag wurde in diesem Fall auch für das Garantiejahr 2003 zu den Abschreibungskosten addiert (22,4% der Abschreibungskosten) und ist günstiger als ein Wartungsvertrag, der auch bisher nicht abgeschlossen wurde. Im Rahmen der Kalkulation für diese Arbeit wurde dieser Betrag dem 1. Nutzungsjahr zugebucht. Dies ergibt also jährliche Fixkosten für den Iso-C^{3D} von 27.940 EUR.

Unerlässlich für Anwendungen an den unteren Extremitäten proximal des Sprunggelenks und im Körperstammbereich ist ein Tischsystem aus Karbon für etwa 30.000 EUR. Zum Zeitpunkt der Ausschreibung für den Iso-C^{3D} war ein Karbontisch bereits vorhanden und wurde deshalb nicht in die eigene Kalkulation einbezogen. Falls in einem Zentrum die Anschaffung eines neuen 2D-Bildwandlers angestrebt wird und statt dessen ein 3D-Bildwandler gekauft wird, der beiden Funktionen erfüllt, können die jährlichen Fixkosten für die intraoperative 3D-Bildgebung verringert werden.

In unserem Zentrum wurde nach Anschaffung des Siemens Iso-C^{3D} im Jahr 2001 ein weiterer 2D-Bildwandler im Jahr 2003 ersetzt. Es handelte sich hierbei um ein C-Arm-System Ziehm Vista (Ziehm Imaging GmbH, Nürnberg), dessen Kaufpreis 82.953 EUR und dessen jährliche Abschreibung über 8 Jahre 10.369 EUR beträgt. Somit würden in diesem Fall jährliche Fixkosten von 17.571 (27.940–10.369) EUR zu Buche schlagen.

Patientenkollektiv zur Berechnung der Kosten

Für die Berechnung der aktuellen Kosten wurden die Daten ausgewertet, die anhand der jährlichen DRG-Kostenrech-

Unfallchirurg 2007 · 110:14–21 DOI 10.1007/s00113-006-1202-6
© Springer Medizin Verlag 2006

T. Hüfner · T. Stübiger · T. Gössling · D. Kendoff · J. Geerling · C. Krettek
Kosten- und Nutzenanalyse der intraoperativen 3D-Bildgebung

Zusammenfassung

Hintergrund. Durch intraoperative dreidimensionale (3D-)Bildgebung können notwendige Revisionen bereits intraoperativ durchgeführt werden, eine 2. Operation wird vermieden. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, eine Kosten- und Nutzenanalyse im 1. Jahr der Anwendung durchzuführen, um unter dem DRG-System für den Anwender eine größere Transparenz zu erzeugen.

Methodik. Auf der Basis interner Daten und der Literatur wurden die jährlichen Betriebskosten des Iso-C^{3D} auf 27.940 EUR (Kaufpreis, Abschreibung, Wartung, Reparatur) veranschlagt, die Kosten einer durchschnittlichen Revision als Zweitoperation auf 2385 EUR (vermiedene Kosten durch Iso-C^{3D}), die Kosten eines intraoperativen 3D-Scans betragen 131,08 EUR (Abdeckung, Zeitbedarf, Personal).

Ergebnisse. Im Jahr 2003 wurden bei 126 Patienten alleine aufgrund der intraoperativen 3D-Information durch das Siremobil 24 intraoperative Revisionen (19%) erforderlich. Bei 11 (8,7%) Patienten wurde eine Korrektur der Implantatlage vorgenommen, bei

13 (10,3%) Patienten wurde die Reposition und die Implantatlage verbessert. Unter Berücksichtigung alleine der Fixkosten konnten 29.311,52 EUR, unter Berücksichtigung der Fix- und dynamischen Kosten 12.795,44 EUR eingespart werden. Da die Parameter für jede Klinik unterschiedlich sind, eignet sich folgende Formel für eine individuelle Berechnung. Zur Berechnung der Kostenegalisierung ergibt sich folgender mathematischer Zusammenhang: (jährliche Fixkosten) + (Scankosten × Anzahl der Fälle) – (Revisionskosten × Revisionsrate [p]) × Anzahl der Fälle [n]) = 0.

Diskussion. Obwohl die Kosten für einen Iso-C^{3D} beträchtlich sind, kann bei häufiger Anwendung und hohen vermiedenen Revisionsraten auch ein betriebswirtschaftlicher Nutzen entstehen. Beträgt die vermiedene Revisionsrate aber nur 5%, kann eine erhebliche Unterdeckung entstehen.

Schlüsselwörter

Kostenanalyse · 3D-Bildgebung · Iso-C^{3D} · Kosten/Minute

Cost-benefit analysis of intraoperative 3D imaging

Abstract

Background. With intraoperative 3D imaging, inevitable corrections may be done already during the operation, and a second procedure can be avoided. The purpose of this study was to perform a cost-benefit analysis during the first year of intraoperative 3D application in order to provide a cost transparency for the surgeon within the current DRG system.

Methods. On the basis of internal data and the literature, the annual operating costs of the ISO-C^{3D} were calculated at 27,940 euros (purchase price, depreciation, maintenance, repair), the costs of an average revision as a secondary operation at 2,385 euros (costs avoided with the ISO-C^{3D}, Siremobil, Siemens, Erlangen, Germany), and the dynamic costs of an intraoperative 3D scan were averaged to 131.08 euros (draping, additional time, personnel).

Results. In the year 2003 intraoperative 3D scanning was done in 126 patients, and intraoperative revision was performed in 24 (19%) due to the additional intraoperative 3D information provided by the Siremobil. In 11

(8.7%) patients the implant position was corrected and in 13 (10.3%) patients the reduction was improved. Taking only fixed costs into consideration, 29,311.52 euros could be saved, and when fixed and dynamic costs are taken into account 12,795.44 euros could be saved. Since the parameters for each hospital are different, the following formula for an individual computation is suitable. For the calculation of the cost the following mathematical relationship results: (annual fixed costs) + (costs per scan × number of cases) – (revision costs × revision rate [p]) × number of cases [N]) = 0.

Discussion. Although the costs of an ISO-C^{3D} are considerably high, an economic benefit can also accrue with frequent application and high rates of avoided revision. However, if the rate of avoided revision adds up to only 5%, a substantial deficit may result.

Keywords

Cost analysis · Intraoperative 3D imaging · Iso-C^{3D} · Costs per minute

nung für das Institut für das Entgeltsystem im Krankenhaus (IneK) erstellt wurden. Da der Datensatz für 2005 noch nicht verfügbar ist, wurde der Datensatz von 2004 verwendet.

In unsere Berechnungen wurden alle Patienten einbezogen, die während des stationären Aufenthalts im Jahr 2004 entlassen wurden und die einer Operation unterzogen wurden. Insgesamt wurden 3128 Patienten in der Unfallchirurgischen Klinik der MHH stationär behandelt, wobei bei 1065 Patienten eine konservative Therapie durchgeführt wurde. Somit wurden 2063 Patienten in unsere Berechnungen mit einbezogen.

Das durchschnittliche Alter der Patienten betrug 47,94 ($\pm 24,71$) Jahre, die durchschnittliche Verweildauer betrug 13,38 ($\pm 15,2$) Tage, wobei auf die durchschnittliche Verweildauer auf der Intensivstation 1,12 ($\pm 4,74$) Tage entfallen.

Die durchschnittlichen Fallkosten beliefen sich auf 8130,96 ($\pm 12.067,70$) EUR, die durchschnittlichen Erlöse betrugen 6164,23 ($\pm 2909,77$) EUR. Insgesamt entstand somit ein durchschnittlicher Mindererlös von -1966,70 ($\pm 6128,12$) EUR. Das Gesamtverhältnis der Erlöse zu den Kosten betrug 0,92 ($\pm 0,44$).

Kostenanalyse von Revisionen

Um die Mehrkosten zu analysieren, die durch erneute Operationen nach postoperativer Computertomographie (CT) entstehen würden, wird im Folgenden eine Berechnung durchgeführt, die die Mindestkosten einer angenommenen postoperativ erforderlichen Revision (z. B. Schraubenwechsel, Reosteosynthese bei postoperativer Gelenkstufe) kalkuliert (■ Tab. 2).

Es wird angenommen, dass eine erneute Revision die Liegedauer um 4 Tage verlängert [2]. Diese Dauer hängt mit der zusätzlichen Diagnostik, Planung und Durchführung des Eingriffs sowie erneuter Diagnostik, einschließlich erneuter postoperativer CT-Untersuchung, zusammen.

Für den Eingriff selbst wird von chirurgischer Seite eine Dauer von 90 min angesetzt. Darin enthalten ist neben der reinen Operationszeit von 60 min eine Dauer von je 10 Mann-Minuten für die Planung des Eingriffs, die Aufklärung, Lagerung, Nachbereitung, Ein- und Ausschleusen und die Dokumentation.

Die Anästhesiezeit wird mit 90 min festgesetzt. Hierbei entfallen neben der chirurgischen Operationszeit noch jeweils

15 min für Ein- und Ausleitung des Patienten. Von Seiten der Anästhesie werden ein Assistenzarzt, ein Oberarzt und eine Anästheseschwester benötigt.

Für die Berechnung der Operationskosten beziehen wir uns auf aktuelle Daten der jährlichen DRG-Kalkulation anhand des Kalkulationshandbuchs [7] in der Version 2.0, die durch das Controlling der MHH für das IneK erstellt wurden. Die durchschnittlichen Kosten für Normalstation, Operationsbereich und Anästhesie sind in verschiedene Kostenarten aufgeteilt und in ■ Tab. 2 dargestellt.

Im Jahr 2004 betrug die Summe der einzelnen Operationszeiten (Schnitt-Naht-Zeit) 276.132 min bei einer Gesamtzahl von 3082 Operationen an 2063 Patienten. Die Rüstzeit wird mit 30 min/Operation pauschal festgesetzt, da diese im Operationsprotokoll nicht speziell dokumentiert ist. Daraus ergibt sich eine Gesamtoperationszeit von 367.512 = 276.132 + (30×3082) min.

In die Kalkulation einbezogen wird zudem eine erneute postoperative CT-Untersuchung, welche laut MHH-Controlling mit 130 EUR verrechnet wird. Die Gesamtkosten der Bereiche Normalstation, Operationsbereich und Anästhesie ergeben sich aus dem Produkt der durchschnittlichen Kosten (■ Tab. 2) und der Gesamtzahl der Fälle.

In ■ Tab. 3 erfolgt die Umrechnung der Gesamtkosten in Kosten pro Zeiteinheit. In die Auswertung der Daten wurden das gesamte Patientenkollektiv des Jahres 2003 (2063 Patienten), das operativ versorgt wurde, mit einbezogen. Darin eingeschlossen waren u. a. 10 po-

	Iso-C ^{3D} -Kosten	Kosten bei Kauf anstelle eines 2D-Bildwandlers
Kaufpreis 2002	185.999,65	Kosten 2D-Bildwandler: 82.953,00
Abschreibung über 8 Jahre, Kosten 2003	22.814,00	Abschreibung 2D-Bildwandler: 10.369,00 Jährliche Kosten (Abschreibung Iso-C ^{3D} minus 2D-Bildwandler): 12.445,00
Wartung + Reparatur 2003	5126,00	5126,00
Gesamtkosten 2003	27.940,00	17.571,00

Bereich	Personalkosten			Arzneimittel		Implantat	Medizinischer Bedarf		Infrastruktur		Summe
	1	2	3	4a	4b	5	6a	6b	7	8	
Normalstation	335,96	985,87	335,97	89,90	71,12	0,00	90,54	0,00	14,25	755,99	2679,60
OP-Bereich	299,34	0,00	527,21	21,46	4,12	479,07	162,34	40,10	49,15	369,65	1952,45
Anästhesie	338,75	0,00	280,53	60,50	1,52	0,00	75,28	0,00	15,27	155,00	926,85

Die Implantatkosten wurden nicht individuell verrechnet, sondern als Mittelwert auf die Fälle verteilt
 Kostengruppen: 1 Personalkosten ärztlicher Dienst, 2 Personalkosten Pflegedienst, 3 Personalkosten des Funktionsdienstes und des medizinisch-technischen Dienstes, 4a Sachkosten für Arzneimittel, 4b Sachkosten für Arzneimittel (Einzelkosten/Ist-Verbrauch), 5 Sachkosten für Implantate und Transplantate, 6a Sachkosten des medizinischen Bedarfs (ohne Arzneimittel, Implantate und Transplantate), 6b Sachkosten des medizinischen Bedarfs (Einzelkosten/Ist-Verbrauch), 7 Personal- und Sachkosten der medizinischen Infrastruktur, 8 Personal- und Sachkosten der nicht-medizinischen Infrastruktur.

lytraumatisierte Patienten (0,05%), die >100 Tage stationär lagen (Maximalwert 139 Tage auf Normalstation). Insgesamt bestand bei 71 Patienten (3,4%) eine Liegezeit von ≥ 50 Liegetagen, 215 Patienten (10,4%) befanden sich >30 Tage in unserer stationären Behandlung. Daraus resultiert eine durchschnittliche Liegezeit von 13,38 Tagen. Diese ermöglicht dann eine Berechnung der minimalen Revisionskosten [■ **Tab. 4:** Die Kostenanalyse bezieht sich auf interne Daten der MHH (2004). Eingeschlossen sind die in der Patientenserie 2003 (aufgrund der intraoperativen Iso-C^{3D}-Daten) durchgeführten 26/124 (19%) Revisionen. Für die Kalkulation wird angenommen, dass sie postoperativ, also als 2. Operation einige Tage später durchgeführt worden wäre. Es wurde seitens der Kosten ein konservativer Ansatz gewählt. Eine Verlängerung der Liegedauer um 4 Tage wird angenommen [2]].

Es wurde bewusst ein minimaler Standard gewählt, zusätzliche Kosten für Laboratorien, zusätzliche radiologische Leistungen, Blutprodukte, Intensivstation und internistische Diagnostik wurden nicht in die Berechnung eingeschlossen. Für jede Revision ergeben sich somit Zusatzkosten in Höhe von mindestens 2385,48 EUR.

Ergebnisse

Im Jahr 2003 wurden bei 126 Patienten alleine aufgrund der intraoperativen 3D-Information durch das Siemens Siremobil Iso-C^{3D} 24 intraoperative Revisionen (19%) erforderlich. Bei 11 (8,7%) Patienten wurde eine Korrektur der Implantatlage vorgenommen, bei 13 (10,3%) Patienten wurde die Reposition und die Implantatlage verbessert. Eine genaue Aufschlüsselung der Revisionen auf verschiedene Operationsbereiche ist in ■ **Tab. 5** dargestellt.

Die Daten sind teilweise publiziert [15]. Eine weitere postoperative Revision wurde nicht erforderlich. Würde man die während unserer Studie gesammelten 24 intraoperativen Revisionen (durchschnittliche minimale Kosten je Revision: 2385,48 EUR) zugrunde legen, ergäbe dies eine Ersparnis von 57.251,52 EUR.

Hier steht eine Anzeige.



Tab. 3 Berechnung der Kosten (EUR) pro Zeiteinheit

Bereich	Durchschnittliche Kosten pro Fall	Rechnung	Ergebnis ^a
Normalstation	2679,60	2679,6 EUR/13,38 Liegetage	200,27 EUR/Tag
OP-Bereich	1952,45	1952,45 EUR 2063 Patienten/367.512 min	10,96 EUR/min
Anästhesie	926,85	926,85 EUR 2063 Patienten/367.512 min	5,20 EUR/min

^aFür die 3 Bereiche Normalstation, OP-Bereich und Anästhesie werden die Gesamtkosten des Jahres 2004 durch die Liegetage bzw. Gesamtoptionsminuten dividiert. Somit ergeben sich die Kosten/Zeiteinheit

Tab. 4 Postoperative Revisionsoperation: Einzelfall – Kostenanalyse (minimale Revisionskosten in EUR)

Kosten	Berechnung	Ergebnis [EUR]
Chirurgie	90 min×10,96EUR/min	986,4
Anästhesie	90 min×5,20 EUR/min	468
Normalstation	4 Tage×200,27 EUR/Tag	801,08
Postoperative CT	1×130 EUR	130
Summe		2385,48
Potenzielle Mehrkosten für 24 Fälle mit intraoperativer Revision	24×2.385,48 EUR	57251,52

Zeitbedarf und Kosten durch intraoperativen 3D-Scan

Die Operation wurde durch den Einsatz des Iso-C^{3D} im Mittel für 9,9 (7,8–22,0) min unterbrochen. Dies schließt die Zeit für die sterile Abdeckung des Untersuchungsgebiets, ebenso die nachfolgende Positionierung des Iso-C^{3D} am Tisch und die Zentrierung, den eigentlichen Scanvorgang, die Rechenzeit der Workstation und die Analyse des Bildmaterials ein. Nicht eingeschlossen sind der An- und Abtransport aus dem Operationsaal, der Aufbau des C-Bogens, der Workstation mit Konnektieren der Kabel und Start. Dieser Vorgang fand zeitgleich zur Operation statt und dauerte 7,5 (6,7–12,0) min.

Der Scan selbst wurde vom vorhandenen Operationspersonal (Arzt oder Pflegekraft) durchgeführt. Die Kosten für die Anästhesie ergeben bei 5,12 EUR/min 50,69 EUR. Von chirurgischer Seite wurden bei den Kosten/Minute bei Verlängerung der Operationsdauer lediglich die Personalkosten für Ärzte und Funktionsdienst, medizinischer Bedarf und die Kosten für die Infrastruktur berücksichtigt. Nicht mit einbezogen in die Berechnung wurden die durchschnittlichen Kosten für Implantate und Medikamente,

da bei der Vorbereitung zum Scan Kosten für diese anfallen. Mit 9,9 min Verlängerung der Operationszeit entstehen von chirurgischer Seite Kosten in Höhe von 80,49 EUR (8,13 EUR × 9,9 min). Insgesamt entstehen bei intraoperativer 3D-Bildgebung somit Kosten in Höhe von 131,08 EUR/Scan.

Rechnet man die Kosten, die das Iso-C^{3D} jährlich verursacht (Tab. 1), gegen die potenzielle Kostenersparnis, die sich durch die Anzahl der Revisionen ergeben, multipliziert mit den Mindestkosten einer Revision (Mindestrevisionskosten s. Tab. 4), so erhält man unter Berücksichtigung der Fixkosten bei 19% Revisionen eine positive Kostendifferenz von 29.311,52 bzw. 39.680,51 EUR und bei einer Annahme von 10% vermiedenen Revisionen eine positive Kostendifferenz von 685,76 EUR bzw. eine Kostenersparnis von 11.054,76 EUR, falls der 3D-Bildwandler anstatt eines neuen 2D-Bildwandlers angeschafft wurde (Tab. 6). Unter Berücksichtigung der Kosten/Scan von 131,08 EUR verändert sich bei 126 Scans (126,00×131,08 EUR = 16.516,08 EUR) diese Rechnung bei 19% Revisionen auf eine positive Kostendifferenz von 12.795,44 EUR (14.164,43 EUR wenn eine Kostenersparnis durch Ver-

meidung der Kosten für einen neuen 2D-Bildwandler entsteht), bei 10% vermiedenen Revisionen auf –15.830,32 EUR (–5461,32 EUR bei Einsparung der Kosten für einen neuen 2D-Bildwandler).

Wenn man die Erlöse nach G-DRG 2005 für die 4 in unserer Studie am häufigsten aufgetretenen Diagnosen betrachtet, wird erkennbar, dass durch eine Revision eine erhebliche Reduktion entsteht (Tab. 7: Die errechneten minimalen Zusatzkosten pro Revision von 2385,48 EUR an 4 Beispielen führen zu einem erheblichen Mindererlös. Nicht berücksichtigt wurde eine mögliche Eingruppierung in eine höhere DRG-Gruppe durch eine Revisionsoperation).

Diskussion

Bei traumatischen und orthopädischen Eingriffen können Revisionen aufgrund von Implantatfehlagen und mangelnder Fragmentreposition v. a. bei Eingriffen in gelenknahen Bereich, aber auch im Becken oder der Wirbelsäule erforderlich werden. Die Ursache für Revisionen liegt hierbei sehr oft in der eingeschränkten intraoperativen Visualisierungsmöglichkeit konventioneller Bildverstärkersysteme sowie in einer eingeschränkten Sicht durch den Zugang.

Jedoch ist zu beachten, dass nicht in jedem Fall eine Revision durchgeführt werden würde, falls man postoperativ mittels CT eine problematische Implantatlage oder ungenügende Fragmentreposition hätte aufzeigen können. Da bei jeder Revision Komplikationen auftreten können und im Einzelfall das potenzielle Komplikationsrisiko den klinischen Nutzen übersteigen kann, wird nicht immer eine operative Revision durchgeführt. Die Indikation zum Einsatz eines 3D-Bildwandlers wurde bei den in unserer Studie eingeschlossenen Fällen v. a. bei Fällen mit schwieriger intraoperativer Visualisierung (wie z. B. Gelenkfrakturen) gestellt. Somit ermittelten wir eine intraoperative Revisionsrate von 19% (24/126). Die realistischen Revisionsraten ohne intraoperative wohl aber mit postoperativer 3D-Kontrolle liegt sicherlich bei <5%.

Da Revisionseingriffe im G-DRG-System nicht zusätzlich vergütet werden, sondern von dem behandelnden Kran-

kenhaus getragen werden müssen, ist die Auswirkung vermeidbarer Revisionen neben medizinischer auch von erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung. Die primäre Behandlung wird zwar von der DRG-Pauschale abgedeckt, jedoch ergeben sich im Gegensatz zu Fällen ohne Komplikationen innerbetriebliche Mehrkosten wie z. B. höhere Liegezeiten, zusätzliche Diagnostik und Verbrauch von Operationsressourcen, die in der Regel nicht gesondert vergütet werden.

Zudem sind die dem neuen Abrechnungssystem teilnehmenden Krankenhäuser seit dem Jahre 2005 verpflichtet, Fallzahlen, Komplikationsraten, Sterblichkeitsraten und durchschnittliche Verweildauer bekannt zu geben [2]. Dies wird möglicherweise dazu führen, dass sich zukünftige Patienten bei der Entscheidung selektiver für ein Versorgungszentrum entscheiden. Dabei würde eine höhere Arbeitsqualität evtl. zu mehr Fallzahlen führen und so das Klinikbudget erhöhen.

Der vorliegenden Kosten-Nutzen-Analyse liegen interne Daten der Medizinischen Hochschule zugrunde. Sie wurde durchgeführt, um mehr Transparenz in die Diskussion um den Einsatz von Ressourcen zu bringen. Eine ähnliche Analyse wurde für Polytraumapatienten bereits durchgeführt [14].

Der Einsatz des Iso-C^{3D} hat bereits in klinischen Studien einen klaren Mehrwert hinsichtlich der intraoperativen Qualitätskontrolle erbracht [4, 10, 11, 12, 13, 16]. Da bei einer solchen Investition aber auch betriebswirtschaftliche Argumente zählen, ist eine Kosten-Nutzen-Analyse indiziert.

Kostenegalisierung

Eine Kostenegalisierung würde bei jährlichen Fixkosten von 27.940 EUR und einem Mindestbetrag für Revisionen von 2385,48 EUR rechnerisch ab einer vermiedenen Revisionsanzahl von 11,7 Fällen/Jahr erreicht, bei Einsparung der Kosten für einen neuen 2D-Bildwandler würde eine Kostenegalisierung ab einer vermiedenen Revisionszahl von 7,4 Fällen jährlich auftreten. Jedoch steigen die jährlichen Kosten mit jedem durchgeführten Scan um weitere 131,08 EUR.

Tab. 5 Revisionsträchtige Diagnosen

Diagnose (n gesamt)	Revisionen		
	Insgesamt [n (%)]	Implantatlage	Gelenkfläche
Obere Extremität (20)	2/20 (10)	0/20	2/20
Distale Radiusfraktur (17)	2/17 (12)		2/17
Humeruskopffraktur (1)			
Fraktur des Os naviculare (1)			
Fraktur Ossa metacarpalia (1)			
Becken/Hüfte (12)	1/12 (8)	0/12	1/12
Acetabulumfrakturen (4)			
Schenkelhalsfrakturen (3)			
Pipkin-Fraktur (1)	1/1 (100)		1/12
Becken-C-Verletzung (3)			
Posttraumatische Hüftkopfnekrose (1)			
Wirbelsäule (10)	1/10 (10)	0/11	1/11
HWS-Frakturen (4)	1/4 (25)		1/11
BWS-Spondylodese (1)			
BWS-Kyphoplastie (1)			
LWK-Fraktur (2)			
Sakrumfraktur (2)			
Ober-/Unterschenkel (46)	10/46 (22)	5/46	5/46
Suprakondyläre Femurfraktur (1)	1/1 (100)		1/1
Tibiakopffrakturen (16)	3/16 (19)	2/16	1/16
Unterschenkelschaftfraktur (1)			
Osteoidosteom Tibia (1)			
OSG-Frakturen (22)	4/22 (18)	2/22	2/22
OSG-Arthrodesen (3)	1/3 (33)	1/3	
Pridie-Bohrung OSG (1)	1/1 (100)		1/1
Patellafraktur (1)			
Fuß (38)	10/38 (26)	6/38	4/38
Kalkaneusfrakturen (22)	6/22 (27)	5/22	1/22
Lisfranc-Luxationsfrakturen (7)	1/7 (14)		1/7
Osteochondrosis dissecans tali (5)	1/5 (20)		1/5
Talusfrakturen (2)	1/2 (50)		1/2
USG-Arthrodesen (2)	1/2 (50)	1/2	
Insgesamt (126)	24/126 (19,0)	11/126 (8,7)	13/126 (10,3)

Es wurden insgesamt 126 Patienten einem intraoperativen 3D-Scan unterzogen. Insgesamt wurden in 24 Fällen intraoperative Veränderungen nach dem Scan durchgeführt

Zur Berechnung der Kostenegalisierung ergibt sich folgender mathematischer Zusammenhang:

$$(\text{Jährliche Fixkosten}) + (\text{Scankosten} \times \text{Anzahl der Fälle}) - (\text{Revisionskosten} \times \text{Revisionsrate}[p] \times \text{Anzahl der Fälle}[N]) = 0$$

Die jährlichen Fixkosten betragen 27.940 EUR (bzw. 17.571 EUR bei Vermeidung der Anschaffung eines neu-

en 2D-Bildwandlers, **Tab. 1**), die Kosten eines Scans 131,08 EUR und die minimalen Revisionskosten als 2. Operation 2385,480 EUR. Wenn man diese Werte in die oben genannte Formel einsetzt, erhält man folgende Gleichung:

$$27.940 + 131,08 N - 2385,48 pN = 0$$

Bei bekanntem p (Revisionsrate ohne Iso-C^{3D}) kann man die Fallzahl N ausrechnen,

Tab. 6 Fixkosten-/Nutzenanalyse (EUR) eines intraoperativen 3D-Bildwandlersystems

Revisionsrate	Kostengut: Anzahl Revisionen × Mindestkosten	Kosten Iso-C ^{3D} p.a.	Kostendifferenz p.a.	Kosten Iso-C ^{3D} bei Anschaffung anstatt 2D-Bildwandler	Kostendifferenz p.a.
Intraoperative Revisionsrate MHH 2003 19%	24 (19,4%) Revisionen × 2385,48 = 57.251,52	-27.940,00	+29.311,52	-17.571,00	+39.680,51
Angenommene Revisionsrate 10%	12 (9,7%) Revisionen × 2385,48 = 28.625,76	-27.940,00	+685,76	-17.571,00	+11.054,76
Angenommene Revisionsrate 5%	6 (4,8%) Revisionen × 2385,48 = 14.312,88	-27.940,00	-13.627,12	-17.571,00	-3249,12

Tab. 7 Erlösminderung durch notwendige Revisionsoperation

Diagnose	Intraartikuläre Tibiakopffraktur	Kalkaneusfraktur mit Gelenkbeteiligung	OSG-Fraktur	Intraartikuläre Radiusfraktur
G-DRG	I13Z	I20Z	I57Z	I21Z
Relativgewicht	1,673	0,934	1,169	0,925
Basiswert [EUR]	2900,00	2900,00	2900,00	2900,00
Gesamterlös [EUR]	4851,7	2708,6	3390,1	2682,5
Revisionskosten [EUR]	2385,48	2385,48	2385,48	2385,48
Minderung [%]	49	88	70	89
Nettoerlös [EUR]	2466,22	323,12	1004,62	297,02

G-DRG-Berechnung bei unkompliziertem Verlauf und jungen Patienten ohne wesentliche Nebenerkrankungen. Basiswert: Medizinische Hochschule Hannover 2006

Tab. 8 Kostenegalisierung unter Berücksichtigung von Fix- und dynamischen Kosten

Revisionen	Berechnung für die alleinige Anschaffung eines 3D-Bildwandlers	Benötigte Iso-C ^{3D} -Fälle/ Jahr ^a	Annahme: keine intraoperativen Scankosten ^b
Bei p=19% Revisionen	$N = 27.940 / (2385,48 \times 0,19 - 131,08)$	N1=87	N2=59
Bei p=15% Revisionen	$N = 27.940 / (2385,48 \times 0,15 - 131,08)$	N1=123	N2=75
Bei p=10% Revisionen	$N = 27.940 / (2385,48 \times 0,10 - 131,08)$	N1=260	N2=112
Bei p=8% Revisionen	$N = 27.940 / (2385,48 \times 0,08 - 131,08)$	N1=468	N2=140
Bei p=6% Revisionen	$N = 27.940 / (2385,48 \times 0,06 - 131,08)$	N1=2.319	N2=195

^a *Kostenegalisierung: $N1 = \text{Fixkosten} / (\text{Revisionskosten} \times p (\text{Revisionswahrscheinlichkeit}) - \text{Scankosten})$. Annahme: intraoperative Scankosten 131,08 + gesparte Revisionskosten 2385,48 EUR*
^b *Kostenegalisierung: $N2 = \text{Fixkosten} / (\text{Revisionskosten} \times p (\text{Revisionswahrscheinlichkeit}))$. Angenommene gesparte Revisionskosten: 2500,00 EUR*

Tab. 9 Kostenegalisierung unter Berücksichtigung von Fix- und dynamischen Kosten bei Anschaffung eines 3D-Bildwandlers anstelle eines 2D-Bildverstärkers

Revisionen	Berechnung für die Anschaffung eines 3D-Bildwandlers anstatt eines neuen 2D-Bildwandlers	Benötigte Iso-C ^{3D} -Fälle/ Jahr ^a	Annahme: keine intraoperativen Scankosten ^b
Bei p=19% Revisionen	$N = 17571 / (2385,48 \times 0,19 - 131,08)$	N1=55	N2=36
Bei p=15% Revisionen	$N = 17.571 / (2385,48 \times 0,15 - 131,08)$	N1=77	N2=47
Bei p=10% Revisionen	$N = 17.571 / (2385,48 \times 0,10 - 131,08)$	N1=163	N2=70
Bei p=8% Revisionen	$N = 17.571 / (2385,48 \times 0,08 - 131,08)$	N1=294	N2=88
Bei p=6% Revisionen	$N = 17.571 / (2385,48 \times 0,06 - 131,08)$	N1=1.458	N2=117

^a *Kostenegalisierung: $N1 = \text{Fixkosten} / (\text{Revisionskosten} \times p (\text{Revisionswahrscheinlichkeit}) - \text{Scankosten})$. Annahme: intraoperative Scankosten 131,08 + gesparte Revisionskosten 2385,48 EUR*
^b *Kostenegalisierung: $N2 = \text{Fixkosten} / (\text{Revisionskosten} \times p (\text{Revisionswahrscheinlichkeit}))$. Angenommene gesparte Revisionskosten: 2500,00 EUR*

die benötigt würde, um bei dieser Revisionsrate nach Abzug der Kosten (Scankosten und jährliche Fixkosten) einen Gewinn zu erwirtschaften.

Aufgelöst nach N (Fallanzahl pro Jahr) ergibt sich: $N = 27.940 / (2385,48 - 131,08 N)$ (Tab. 5). Des Weiteren könnte man bei einer bekannten Fallanzahl N die Revisionsrate p errechnen. Es ergäbe sich die theoretische Revisionsrate, bei deren Vermeidung, nach Abzug der Kosten, eine positive Bilanz erreicht würde: $p = (27.940 + 131,08 N) / 2385,48 N$ und beträgt bei unseren Daten bei zusätzlicher Anschaffung zu den 2D-Modellen mit 126 Fällen im Jahr 2003 16% und bei Anschaffung anstatt eines neuen 2D-Bildwandlers 12,6%.

Können die intraoperativen Iso-C^{3D}-Kosten durch wieder verwendbare Materialien zur Abdeckung und zu optimaler Integration in den Operationsablauf auf o EUR reduziert werden, sind deutlich weniger Fälle/Jahr notwendig.

Die Tab. 8 zeigt Iso-C^{3D}-Fälle, die bei der jeweiligen Revisionsrate nötig sind, um die jährlichen Kosten des Iso-C^{3D} auszugleichen. Revisionen beziehen sich auf eine Reosteosynthese bei Implantatfehl- lage oder residuale Stufenbildung, nicht aber Revisionen aufgrund von Hämatom, Wundheilungsstörung, Infekt. Aufgeführt ist die notwendige Anzahl Iso-C^{3D}-kontrollierter Operationen, die bei der jeweilig angenommenen Revisionsrate nötig sind, um die jährlichen Kosten des Iso-C^{3D} auszugleichen. N1 berücksichtigt dabei die Kosten je Scan von 131,08 EUR und vermiedene Kosten/Revision von 2385,48 EUR. Bei N2 sind die Scankosten auf o EUR gesetzt und vermiedene Kosten/Revision auf 2500,00 EUR.

Tab. 9 führt Iso-C^{3D}-Fälle auf, die bei der jeweiligen Revisionsrate nötig sind, um die jährlichen Kosten des Iso-C^{3D} aus-

zugleichen, falls der 3D-Bildwandler anstatt eines neuen 2D-C-Arm-Systems angeschafft wurde. Revisionen beziehen sich auf eine Reosteosynthese bei Implantatfehl- lage oder residuale Stufenbildung, nicht aber Revisionen aufgrund von Hämatomen, Wundheilungsstörungen oder Infekten. Aufgeführt ist die notwendige Anzahl Iso-C^{3D}-kontrollierter Operationen, die bei der jeweilig angenommenen Revisionsrate nötig sind, um die jährlichen Kosten des Iso-C^{3D} auszugleichen. N₁ berücksichtigt dabei Kosten je Scan von 131,08 EUR und vermiedene Kosten/Revision von 2385,48 EUR. Bei N₂ sind die Scankosten auf 0 EUR gesetzt und vermiedene Kosten/Revision auf 2500,00 EUR.

Es wird ersichtlich, dass mit der Rate vermiedener operativer Revisionen <5,5 % eine Kostenegalisierung durch den intraoperativen Einsatz des 3D-Bildwandlers nicht mehr möglich ist. Bei einer Revisionsrate von <5,5% überwiegen die anfallenden Kosten für jeden Scan die potenziellen Revisionskosten. Eine Revisionsrate von 5,5% besagt, dass etwa bei jeder 18. Operation eine Ersparnis von 2385,48 EUR (minimale Revisionskosten) erreicht wird, während die 18 Scans jedoch addiert auch 2359,44 EUR (18×131,08 EUR) kosten.

Die in **Tab. 8 und 9** dargestellten Berechnungen zur Kostenegalisierung machen deutlich, dass die Anschaffung eines 3D-Bildwandlers aus betriebswirtschaftlicher Sicht nicht immer angezeigt ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass für die Kalkulation bewusst ein minimaler Ansatz gewählt wurde, da auf der Kosten- seite bestimmte Parameter nicht eingeschlossen wurden (z. B. die Verdrängung „lukrativer“ Eingriffe durch die Revision einerseits und die erforderliche Anschaffung eines Karbontischsystems andererseits). Eine angenommene Verlängerung des stationären Aufenthalts durch eine Revision kann auch >4 Tage betragen und damit die Revisionskosten deutlich ansteigen lassen. Ebenfalls wurde keine volkswirtschaftliche Analyse durchgeführt (z. B. Folgekosten bei Arthrose durch intraartikuläre Implantatlage).

Strategien zur Verbesserung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses sollten zunächst eine Ausweitung der Indikation für den 3D-C-Armeinsatz mit einschließen. Eine Kostenegalisierung ist dann auch bei

niedrigeren Revisionsraten möglich. Bis auf das Schultergelenk ist jedes Gelenk abbildbar, weiterhin können auch Pedikelschrauben oder Beckenosteosynthesen kontrolliert werden. Durch neue 3D-Bildwandler mit niedrigerem Gewicht steigt möglicherweise auch die Akzeptanz für das Personal zur Nutzung.

Weiterhin kann durch Training und Modifikation die Unterbrechung der Operation minimalisiert werden. Im 3. Jahr der Anwendung konnten wir durch die Iso-C^{3D}-Kontrolle eine Reduktion der Operationszeit z. B. bei Kalkaneusfrakturen feststellen, da das umständliche Röntgen für die Schrägaufnahmen entfällt. Weiterhin sollte der Iso-C^{3D} während der Operation als konventioneller C-Arm genutzt werden. Es entfällt der zusätzliche Aufbau. Durch wiederverwendbare Abdecktücher werden die Materialkosten reduziert.

Auch ein Patientenpooling in Zentren mit einem 3D-Bildwandler ist denkbar. Dies gilt für bestimmte problematische Frakturen (diakondyläre Ellenbogenfrakturen, Tibiakopf, Pilon, Rückfuß und Fußwurzel), deren Kosten im DRG-System ohnehin schlecht abgebildet sind.

Da die Parameter nicht übertragbar sind, muss für jedes Krankenhaus die Kalkulation individuell erfolgen, was anhand der Tabellen möglich ist. Weiterhin ist für den 3D-C-Arm möglicherweise eine Preisreduktion möglich, zumal jetzt auch von weiteren Firmen diese Technologie angeboten wird. Ein weiterer Aspekt ist die längere Abschreibungsdauer.

Betrachtet man jedoch den prozentualen Anteil an der Gesamtpauschale, der durch zusätzliche Revisionen verloren geht, wird deutlich, dass ein 3D-Bildwandler neben der besseren intraoperativen Visualisierung und einer höheren Ergebnisqualität auch aus Einsparungsgründen eine zusätzliche Alternative in der intraoperativen Bildgebung für viele Zentren darstellen könnte.

Fazit für die Praxis

Neben dem unbestrittenen medizinischen Nutzen kann die Investition für einen 3D-Bildwandler auch betriebswirtschaftlich sinnvoll sein. Gerade bei geplanter Neuanschaffung und als Ersatz für einen 2D-Bildwandler könnte die

Überlegung für Zentren mit einer hohen Anzahl komplexer Gelenkfrakturen auch unter diesem Aspekt interessant sein, jedoch ist hier eine vorherige individuelle Kostenkalkulation notwendig.

Korrespondierender Autor

Prof. Dr. T. Hüfner

Unfallchirurgische Klinik,
Medizinische Hochschule
Carl-Neuberg-Straße 1, 30625 Hannover
Huefner.tobias@mh-hannover.de

Interessenkonflikt. Keine Angaben

Literatur

- Acosta FL Jr, Thompson TL, Campbell S et al. (2005) Use of intraoperative isocentric C-arm 3D fluoroscopy for sextant percutaneous pedicle screw placement: case report and review of the literature. *Spine J* 5: 339–343
- Bischoff M, Hebecker A, Hartwig E, Gebhard F (2004) Wirtschaftlichkeit der intraoperativen 3D-Bildgebung mit einem mobilen chirurgischen C-Bogen. *Unfallchirurg* 107: 712–715
- Briem D, Linhart W, Lehmann W et al. (2006) Computer-assisted screw insertion into the first sacral vertebra using a three-dimensional image intensifier: results of a controlled experimental investigation. *Eur Spine J* 15(6): 757–763
- Euler E, Wirth S, Linsenmaier U et al. (2001) Vergleichende Untersuchung zur Qualität der C-Bogen-basierten 3D-Bildgebung am Talus. *Unfallchirurg* 104: 839–846
- Hartwig E, Schultheiss M, Bischoff M (2002) Pauschalisiertes Vergütungssystem bei minimal-invasiver Versorgung instabiler Wirbelfrakturen. Eine Analyse der Kosten und Erträge. *Unfallchirurg* 105: 755–758
- Heiland M, Schmelzle R, Hebecker A, Schulze D (2004) Intraoperative 3D imaging of the facial skeleton using the SIREMOBIL Iso-C3D. *Dentomaxillofac Radiol* 33: 130–132
- InEK gGmbH (2004) Kalkulationshandbuch Version 2.0. Institut das Entgeltssystem im Krankenhaus gGmbH, InEK gGmbH, Siegburg
- InEK C (2004) German Diagnosis Related Groups Definitionshandbuch. Definitionshandbuch G-DRG Version 2005. InEK gGmbH, Siegburg
- Jacob AL, Messmer P, Kaim A et al. (2000) A whole-body registration-free navigation system for image-guided surgery and interventional radiology. *Invest Radiol* 35: 279–288
- Kendoff D, Geerling J, Mahlke L et al. (2003) Navigated Iso-C(3D)-based drilling of an osteochondral lesion of the talus. *Unfallchirurg* 106: 963–967
- Kendoff D, Hüfner T, Citak M et al. (2005) Navigated Iso-C(3D)-based percutaneous osteoid osteoma resection: A preliminary clinical report. *Comput Aided Surg* 10: 157–163
- Kotsianos D, Rock C, Euler E et al. (2001) 3D-Bildgebung an einem mobilen chirurgischen Bildverstärker (ISO-C-3D). Erste Bildbeispiele zur Frakturdiagnostik an peripheren Gelenken im Vergleich mit Spiral-CT und konventioneller Radiographie. *Unfallchirurg* 104: 834–838
- Meier R, Kfuri M Jr, Geerling J et al. C (2005) Intraoperative 3D-Bildgebung am Handgelenk mit einem mobilen isozentrischen C-Bogen. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 37: 256–259
- Pape HC, Grotz M, Schwermann T et al. (2003) Entwicklung eines Modells zur Berechnung der Kosten der Versorgung schwer Verletzter – eine Initiative des Traumaregisters der DGU. *Unfallchirurg* 106: 348–357
- Richter M, Geerling J, Zech S et al. (2005) Intraoperative three-dimensional imaging with a motorized mobile C-arm (SIREMOBIL ISO-C-3D) in foot and ankle trauma care: a preliminary report. *J Orthop Trauma* 19: 259–266
- Stockle U, König B, Schaffler A et al. (2006) Klinische Erfahrungen mit dem Siremobil Iso-C^{3D}-Bildwandler in der Beckenchirurgie. *Unfallchirurg* 109: 30–40