

Aus dem Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Direktor: Univ.-Prof. Dr. Gerald Antoch

Der diagnostische Wert des CT-*Localizers* im Vergleich mit der *Low-Dose-Computertomographie* bei Patienten mit Verdacht auf *Body Packing* unter dem Aspekt der Strahlenreduzierung

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Antonia Friederike Kohlmeier
(2017)

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Priv.-Doz. Dr. med. Falk Miese

Zweitgutachter: Prof. Dr. med. Benedikt Ostendorf

Für meine Eltern und meine Schwester

Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht:

Diagnostic value of CT-localizer and axial low-dose computed tomography for the detection of drug body packing.

Aissa J, Kohlmeier A, Rubbert C, Hohn U, Blondin D, Schleich C, Kröpil P, Boos J, Antoch G, Miese F.

J Forensic Leg Med. 2016 Jan; 37:55-60. doi: 10.1016/j.jflm.2015.10.009.

Zusammenfassung

Einleitung:

Zum Nachweis inkorporierter Päckchen bei Patienten mit Verdacht auf *Body Packing* hat sich die Anfertigung einer *Low-Dose-Computertomographie* etabliert. Bei den zumeist jungen und gesunden Patienten ist es besonders wichtig, die Strahlenexposition möglichst gering zu halten. Die *Low-Dose-Computertomographie* ist bereits mit einer reduzierten Strahlenexposition für die Patienten verbunden. Trotzdem ist es gemäß dem ALARA-Prinzip („*As Low As Reasonably Achievable*“) ein wichtiges Ziel, die effektive Dosis für Patienten weiter zu reduzieren. Vor diesem Hintergrund untersucht diese Studie die diagnostische Aussagekraft des *CT-Localizers*.

Ziele der Arbeit:

Evaluation der diagnostischen Aussagekraft des *CT-Localizers* zum Nachweis von *Body Packing* im Hinblick auf eine mögliche Reduktion der Strahlenexposition.

Material und Methoden:

Von März 2012 bis August 2013 erfolgte die Untersuchung von insgesamt 156 Patienten mit dem Verdacht auf *Body Packing*. Der *CT-Localizer* und die *Low-Dose-CT* wurden von zwei Radiologen, die geblendet waren für das Ergebnis der Untersuchung, im Rahmen einer retrospektiven Datenanalyse bewertet. Der Nachweis inkorporierter Päckchen erfolgte im Konsens. Sensitivität, Spezifität sowie der positive und negative Vorhersagewert (PPV und NPV) des *CT-Localizers* wurden ermittelt. Darüber hinaus erfolgten eine Bewertung der Bildqualität sowie eine Auswertung des Zusammenhanges zwischen der Beurteilung des *CT-Localizers* und der Art des *Body Packing* sowie der Anzahl und der Dichte der inkorporierten Päckchen.

Ergebnisse und Diskussion:

Von den 156 Patienten konnte insgesamt in 54 Fällen *Body Packing* nachgewiesen werden. In 41 Fällen konnte der Verdacht bereits durch den *CT-Localizer* bestätigt werden. Die Sensitivität des *CT-Localizers* betrug 0,76, die Spezifität betrug 1,0. Es gab keine falsch-positiven Ergebnisse. Der PPV des *CT-Localizers* war 1,0 und der NPV war 0,89. Der Verzicht auf die *Low-Dose-CT* nach positiv bewertetem *CT-Localizer* hätte eine Reduktion der effektiven Dosis von $1,95 \pm 0,23$ mSv ermöglicht, dies entspricht einer Reduktion um 94,7 %.

Die Bildqualität der *Low-Dose-CT* und des *CT-Localizers* war überwiegend exzellent. Ein Vergleich der beiden Gruppen zeigte jedoch einen signifikanten Unterschied zugunsten der *Low-Dose-CT*. Es konnten keine signifikanten Unterschiede in der Bildqualität zwischen richtig-positiv und falsch-negativ bewerteten *CT-Localizern* festgestellt werden. Ein Vergleich der Zuverlässigkeit des Nachweises inkorporierter Päckchen im *CT-Localizer* in Abhängigkeit von der Art des *Body Packing* und der Anzahl inkorporierter Päckchen zeigte die höchste Sensitivität bei *CT-Localizern* von *Body Packern*, die Päckchen mit Kokain in fester Form schluckten. Bei richtig-positiv bewerteten *CT-Localizern* wurden im Durchschnitt signifikant mehr Päckchen inkorporiert als bei falsch-negativ bewerteten *CT-Localizern*.

Schlussfolgerung:

Der besondere Wert des *CT-Localizers* bei der Diagnostik von *Body Packing* liegt in seinem hohen PPV. Im Vergleich mit der *Low-Dose-CT* ist die Sensitivität des *CT-Localizers* zum Nachweis inkorporierter Päckchen gering. Im Falle eines positiv bewerteten *CT-Localizers* wäre es aufgrund des hohen PPV möglich, auf die *Low-Dose-CT* zu verzichten und so die effektive Dosis deutlich zu reduzieren.

Bei negativ bewertetem *CT-Localizer* ist zum sicheren Ausschluss von *Body Packing* die Anfertigung einer ergänzenden *Low-Dose-CT* jedoch unerlässlich.

Summary

Introduction:

Low-Dose-CT is a well-established method of detecting drug filled packets within patients that are suspected of body packing. Low-Dose-CT examinations have the benefit of reduced radiation exposure which is of particular importance here as these patients are mainly very young and healthy. Nevertheless, in accordance with the ALARA-Principle („As Low As Reasonably Achievable“) continued efforts to further reduce radiation exposure remain important. Against this background this study analyses the qualification of the CT-Localizer for diagnostic purposes with regard to body packing.

Objectives:

Evaluation of the diagnostic value of the CT-Localizer as a suitable method for the verification of body packing with the aim of a reduction of radiation exposure.

Material and methods:

From March 2012 to August 2013 a total of 156 patients suspected of body packing were examined in the Department of Diagnostic and Interventional Radiology of the University Hospital Duesseldorf. Within a retrospective analysis the Low-Dose-CTs including the CT-Localizer were evaluated by two radiologists that were blinded with regard to the results of the examination. The proof of body packing was determined consensually. Sensitivity and specificity as well as the positive and negative predictive value (PPV and NPV) of the CT-Localizer have been calculated. Furthermore, the image quality was evaluated and analyzed by testing a connection of the findings of the CT-Localizer with the type of body packing as well as the number and density of the packets.

Results and discussion:

54 of 156 patients were diagnosed as being body packers. In 41 patients the evidence of packets could be proven in the CT-Localizer.

The sensitivity of the CT-Localizer was 0,76, the specificity was 1,0. There were no wrong-positive results. The PPV of the CT-Localizer was 1,0 and the NPV was 0,89. The omission of the Low-Dose-CT following a positive evaluated CT-Localizer would have resulted in a reduction of the effective dose of $1,95 \pm 0,23$ mSv which is a reduction of 94,7 %.

The image quality of the Low-Dose-CT and the CT-Localizer was mainly excellent. In comparison of both groups the image quality of the Low-Dose-CT was significantly better. There were no significant differences between the image quality of right-positive and wrong-negative evaluated CT-Localizer. A comparison of the reliability of the detection of body packets in the CT-Localizer dependent on the type of body packing and the number of packets showed the highest sensitivity in CT-Localizer of patients who had swallowed packets of solid cocaine. Patients with CT-Localizer with a right-positive evaluation in average ingested more packets than patients with CT-Localizer with a wrong-negative evaluation.

Conclusion:

The value of the CT-Localizer for the detection of body packets lies in its high PPV. In comparison with the Low-Dose-CT the sensitivity of the CT-Localizer is poor.

A positive evaluated CT-Localizer could enable – due to its high PPV – the omission of the Low-Dose-CT and, thus, reduce the radiation exposure significantly. In cases with a negative evaluated CT-Localizer the Low-Dose-CT examination is absolutely essential for the safe exclusion of body packets.

Abkürzungsverzeichnis

a.a.O.	am angegebenen Ort
Abb.	Abbildung
Abs.	Absatz
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
a.-p.	anterior-posterior
Art.	Artikel
Az	Aktenzeichen
BtMG	Betäubungsmittelgesetz
BVerfG	Bundesverfassungsgericht
BVerfGE	Sammlung der Entscheidungen des BVerfG
cm	Zentimeter
cSL	Kollimation bzw. section collimation
CT	Computer-Tomographie
CTDI	CT-Dosisindex
CNR	contrast-to-noise ratio
D	Energiedosis
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
DNA	(engl. Desoxyribonucleid Acid) Desoxyribonukleinsäure
DLP	Dosis-Längen-Produkt
E	Effektive Dosis
ESR	European Society of Radiology
Fn	Fußnote
FOV	Field of View
g	Gramm
Gy	Gray
h	Stunde
HE	Hounsfield-Einheit
ICS	image criteria score
J	Joule
kg	Kilogramm
kV	Kilovolt
i.v.	intravenös
LD50	mittlere letale Dosis
mA	Milliampere
mAs	Milliamperesekunde

mg	Milligramm
mGy	Milligray
Mio.	Millionen
mm	Millimeter
MPR	Multiplanare Rekonstruktionen
Mrd.	Milliarden
MRT	Magnetresonanz-Tomographie
mSv	Millisievert
NJW	Neue juristische Wochenschrift (Zeitschrift)
NPV	Negativer Vorhersagewert
NStZ	Neue Zeitschrift für Strafrecht
OLG	Oberlandesgericht
OP	Operation
P	Pitch
PACS	Picture Archiving and Communication System
p.o.	per os, oral
PPV	positiver Vorhersagewert
ref.	reference
Rn	Randnummer
ROI	Region of Interest
s	Sekunde
SNR	signal-to-noise ratio
StPO	Strafprozessordnung
Sv	Sievert
T / TI	Rotationszeit
TEP	Total-Endo-Prothese
TF	Tischvorschub
USA	(engl. United States of America) Vereinigte Staaten von Amerika
VGA	visual grading analysis

Hinweis zu geschlechtsspezifischen Bezeichnungen:

Die maskuline Form aller geschlechtsspezifischen Bezeichnungen gilt entsprechend für die weibliche Form.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	<i>Body Packing</i>	1
1.2	<i>Body Packer</i>	2
1.3	<i>Body Packets</i>	3
1.4	Kokain	4
1.5	Komplikationen des <i>Body Packing</i>	5
1.6	Klinisches Management von <i>Body Packern</i>	6
1.7	Diagnostik	8
1.7.1	Konventionelles Röntgen	8
1.7.2	Sonographie	9
1.7.3	Magnetresonanztomographie (MRT)	10
1.7.4	Computertomographie (CT)	11
1.7.5	<i>CT-Localizer</i>	12
1.8	Computertomographie	13
1.8.1	Funktionsweise der Computertomographie	13
1.8.2	Dosisparameter	16
1.8.3	<i>CT-Localizer</i>	17
1.9	Ionisierende Strahlung	17
1.9.1	Biologische Strahlenwirkung	17
1.9.2	Umweltradioaktivität	19
1.9.3	Maßnahmen zum Strahlenschutz im CT	22
1.10	Rechtliche Aspekte	22
2	Ziele der Arbeit	25
3	Material und Methoden	26
3.1	Patientenkollektiv	26
3.2	Datenerhebung	27
3.3	Untersuchung der Patienten	30
3.4	Bildanalyse	31
3.5	Objektive Bildqualität	33
3.6	Subjektive Bildqualität	33
3.7	Strahlendosis	35
3.8	Statistische Datenauswertung	36
4	Ergebnisse	37
4.1	Patientenkollektiv	37
4.2	Vergleich des <i>CT-Localizers</i> mit der <i>Low-Dose-Abdomen-CT</i>	45

4.3	Sensitivität des CT-Localizers in Abhängigkeit von der Art des <i>Body Packing</i>	46
4.4	Bewertung des CT-Localizers in Abhängigkeit von der Päckchenanzahl.....	47
4.5	Bewertung des CT-Localizers in Abhängigkeit von der Dichte der Päckchen	48
4.6	Objektive Bildqualität	49
4.7	Subjektive Bildqualität.....	50
4.8	Strahlendosis	52
5	Diskussion.....	54
5.1	Die geeignete Methode zur Untersuchung	54
5.2	Diagnostische Aussagekraft des CT-Localizers	56
5.3	Bildqualität des CT-Localizers	59
5.4	Einflussfaktoren auf die Aussagekraft des CT-Localizers.....	60
5.5	Effektive Dosis des CT-Localizers und potentielle Dosisreduktion	63
5.6	Limitationen.....	66
5.7	Ausblick.....	67
6	Schlussfolgerung.....	68
7	Literatur- und Quellenverzeichnis.....	70

1 Einleitung

1.1 *Body Packing*

Der internationale Drogenschmuggel hat aufgrund der gestiegenen Nachfrage in den letzten Jahrzehnten deutlich zugenommen [1]. Es gibt eine Vielzahl von Schmuggelwegen, um die illegalen Substanzen in die ganze Welt zu liefern. Aufgrund der strengen Sicherheitskontrollen an internationalen Grenzen sind die Schmuggler u. a. dazu übergegangen, Drogen innerhalb ihres Körpers zu verstecken [1].

Diese Studie beschäftigt sich mit dem intrakorporalen Transport von Kokain.

June et al. haben in ihrer Übersichtsarbeit verschiedene Formen des intrakorporalen Drogenschmuggels gegenübergestellt. Hiernach wurde der heute gängige Begriff des „*Body Packing*“ bereits 1983 von McCarron und Wood geprägt. *Body Packing* definiert das Schlucken von Päckchen, die eine illegale Substanz enthalten, mit dem Ziel des Schmuggelns [2,3].

In der Literatur gibt es verschiedene synonym verwendete Bezeichnungen für den Begriff des „*Body Packing*“. Diese sind „*swallowers*“, „*internal carriers*“, „*couriers*“ und „*mules*“ [4]. Neben dem Schlucken von Päckchen, ist das Applizieren von Drogenpäckchen rektal [5,6] oder vaginal [5] eine weitere Technik. In diesem Zusammenhang wird auch der Begriff des „*Body Pushing*“ verwendet [7].

Eine andere Variante ist das „*Body Stuffing*“. Diese Technik wird überwiegend bei Drogendealern und Konsumenten beobachtet, die spontan kleine, schlecht verpackte Drogenpäckchen verschlucken, mit dem Ziel, diese vor der Polizei zu verstecken [3,8].

Nahezu jede Substanz kann intrakorporal transportiert werden. Es gibt Berichte über Ecstasy [6], Amphetamine [9] und Marihuana [10,11]. Am häufigsten ist jedoch der Schmuggel von Kokain, Heroin und Cannabis-Produkten [12,13].

Der erste Fall eines *Body Packers* wurde 1973 von M. Deitel und A.K. Syed berichtet. Sie beschrieben einen Fall, bei dem ein Patient einen Dünndarmileus erlitt, 13 Tage nach dem Schlucken eines mit Haschisch gefüllten Kondoms [14].

Ursprünglich wurde *Body Packing* überwiegend bei jungen Männern beobachtet [15]. Mittlerweile erfolgt diese Praxis in jeder Bevölkerungsgruppe. So wurden auch Fälle von Kindern [16,17] und schwangeren Frauen [18] berichtet.

1.2 *Body Packer*

Body Packer werden von Drogenorganisationen als Drogenkuriere beauftragt [12]. Ihre Route beim Schmuggel von Kokain führt meist aus Lateinamerika über die Karibik nach Europa oder in die USA. Damit möglichst viele *Body Packer* unentdeckt die Passkontrollen passieren können, werden mehrere Schmuggler auf einen kommerziellen Flug gebucht. Da die Fahndungen durch den Zoll den Drogenorganisationen gut bekannt sind, werden Europäer und Nordamerikaner als Drogenschmuggler bevorzugt. Drogenschmuggler aus Industrienationen werden häufig mit einem Luxusurlaub, zum Beispiel in die Karibik, gelockt. Am Ende dieses Urlaubes muss der *Body Packer* die Drogen über die Grenze transportieren [15].

Body Packer tragen in der Regel hochwertigere Oberteile und Jacken im Vergleich mit Hose und Schuhen. Sie tragen keine teuren Uhren und keinen Schmuck. Sie unterscheiden sich von Geschäftsleuten durch die Art ihrer Kommunikation. *Body Packer*, die als Touristen reisen, besitzen in der Regel keine Unterlagen einer Reiseagentur, haben kein festes Ziel und führen viel Bargeld mit sich (500-1000 €). Die Flugtickets wurden gewöhnlich bar bezahlt. Bei der Zollkontrolle tragen *Body Packer* häufig eine Sonnenbrille, um rote Augen und kleine Pupillen zu verdecken; manche sind sehr apathisch, andere extrem nervös. Bei intravenöser (i.v.) Drogenabhängigkeit wird langärmelige Kleidung getragen, um die Injektionsstellen zu bedecken [12].

In ihrem Gepäck findet man häufig ungewöhnliche Utensilien wie Kondome, Latexfinger und -Handschuhe, Vaseline und Kokosnussöl zum Schlucken der Päckchen, Toilettenpapier, Sprays und Deodorants gegen schlechten Geruch bei Erbrechen und Flatulenz sowie Kohletabletten für den Fall einer Päckchenruptur. Um die Darmperistaltik zu mildern, halten *Body Packer* während des Fluges eine strenge Diät oder essen gar nichts, daneben werden motilitätshemmende Medikamente eingenommen [12,15]. Zur Hemmung der Magen-Darm-Passage werden häufig Spasmolytika und Atropinderivate verwendet [19].

Angehende *Body Packer* müssen ein strenges Training absolvieren, bei dem sie zunächst Weintrauben, Pflaumen oder andere ähnlich geformte, harmlose Gegenstände, auch Kondome gefüllt mit Zucker, schlucken müssen. Ziel der *Body Packer* ist es, so viele Päckchen wie möglich zu schlucken.

Der Inhalt der Päckchen enthält Drogen von einem sehr hohen Reinheitsgrad (60-80 %) [15]. Die durchschnittliche Passagezeit der Päckchen durch den Gastrointestinaltrakt liegt bei 5,9 Tagen (1-17 Tage) [20].

1.3 *Body Packets*

Für das *Body Packing* wird die zu schmuggelnde Substanz in kleine Päckchen verpackt, die entweder von Hand oder maschinell produziert werden. Es erfolgt eine Ummantelung mit Kondomen, Latex, Zellophan oder anderen synthetischen Materialien. Die zu schluckenden Päckchen sind kleiner als rektal oder vaginal platzierte Päckchen [12].

Zu schluckende Päckchen haben meist eine rundliche oder ovale Form und messen bis zu 2 x 8 cm [21]. Diese Päckchen enthalten etwa 3-12 g Rauschgift [5,22-24]. Die rektal oder vaginal applizierten Päckchen sind in der Regel deutlich größer, messen bis zu 9 x 3 cm und enthalten bis zu 30 g Rauschgift [21].

Durchschnittlich werden etwa 70 bis 85 Päckchen geschluckt [24,25], es sind aber auch Fälle mit mehr als 200 Päckchen beschrieben [26]. Beim Kokain-Schmuggel transportiert ein *Body Packer* durchschnittlich 1 kg Kokain [23], andere Studien berichten von durchschnittlich 400 g Kokain pro Person (15-1900 g) [24].

Ein typisches Päckchen enthält 8-10 g Kokain. Nachdem dieses dreimal gestreckt wurde, hat die daraus hervorgehende Menge von 30 g einen Straßenverkaufswert von 30 \$ pro Gramm, also nahezu 1000 \$ pro Päckchen [24].

Es gibt eine Vielzahl von Techniken zur Herstellung der *Packets*, die sich in Form, Größe und Ummantelung unterscheiden.

Nach Pinto et al. unterteilen McCarron and Wood drei verschiedene Arten der Kokainpäckchen: Typ I enthält loses Kokainpulver umgeben von 2-4 Lagen Kondomen; Typ II und III enthalten festes Kokainpulver oder -Paste, wobei Typ II mit mehreren Lagen Latex umwickelt ist und einen maschinell hergestellten Eindruck macht und Typ III eine Schicht Aluminiumfolie enthält [2,13].

Vor einigen Jahren (2002) wurde von Pidoto et al. ein Typ IV-Päckchen beschrieben. Hier wird Kokainhydrochlorid in einer wässrigen Alkohollösung aufgelöst und es entsteht eine Paste, die, sobald sie ausgehärtet ist, in Latexfolie und gefärbtes Paraffin oder Fiberglas verpackt wird. Diese Päckchen sind sehr viel robuster und es kommt deutlich seltener zur Ruptur oder Leckage [22].

Darüber hinaus hat sich in den letzten Jahren eine weitere Technik etabliert, bei der Kokainpulver in verschiedenen Flüssigkeiten gelöst wird, um eine flüssige Transportform des Kokains zu produzieren. Diese kann zu einem späteren Zeitpunkt wieder in die Pulverform umgewandelt werden [27-29]). Für den intrakorporalen Transport wird das flüssige Kokain in Kondomen verpackt und verknotet.

1.4 Kokain

In dieser Studie enthielten die intrakorporal geschmuggelten Drogenpäckchen ausschließlich Kokain, da die untersuchten Patienten überwiegend aus Curacao einreisten und dies eine typische Route für den Kokain-Schmuggel ist.

Andere Substanzen wie Marihuana und Heroin werden meist bereits in osteuropäischen und arabischen Ländern verarbeitet.

Kokain gehört zu den Tropanalkaloiden, die wiederum zu der pharmakologischen Wirkstoffklasse der Parasympatholytika gezählt werden [30]. Somit gehört Kokain zur Gruppe der Stimulanzien, die die Stimmung verbessern, wach halten und die Aufmerksamkeit steigern [31].

Die Coca-Pflanze ist in der Andenregion von Südamerika beheimatet. Über Jahrhunderte wurde die Pflanze von den Einheimischen angebaut und die Blätter aufgrund ihrer stimulierenden Wirkung gekaut. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde erstmals Kokain isoliert und das Interesse an der neuen Droge nahm stetig zu. Zunächst entstanden verschiedene Produkte, die Kokain enthielten, wie Wein und Coca Cola. Bald darauf wurde auch die medizinische Wirkung als Lokalanästhetikum entdeckt [32]. In den folgenden Jahren nahm die medizinische Bedeutung von Kokain deutlich zu. Zusätzlich wurde jedoch auch das hohe Abhängigkeitspotential erkannt [33].

Kokain ist eine schwache Base, die aus den Blättern der Coca-Pflanze, *Erythroxylon coca*, gewonnen und in einer Paste gelöst wird, die 70 % pures Kokain enthält. Zur Herstellung der wasserlöslichen Pulverform, des Kokainhydrochlorids, erfolgt eine Weiterbehandlung mit Säure. Dadurch ist eine Aufnahme über die Nasenschleimhaut möglich [12,34].

Ein Coca-Blatt enthält 0,1-0,8 % Kokain. Eine 5000 Hektar große Coca-Plantage kann bis zu 35 Tonnen Kokain produzieren mit einem Straßenverkaufswert von mehreren Millionen Dollar [35].

Kokain kann von jeder Schleimhaut aufgenommen werden oder intravenös injiziert werden, am gebräuchlichsten ist die nasale Insufflation. Hierbei tritt innerhalb von 3-5 Minuten eine Euphorie ein, mit Kokain-Spitzenwerten nach 30-60 Minuten. Die biologische Halbwertszeit des Kokains liegt bei 60 Minuten.

Der physiologische Effekt von Kokain erfolgt über eine Blockade der Wiederaufnahme der Neurotransmitter Noradrenalin, Dopamin und Serotonin an der Präsynapse. Durch eine erhöhte Konzentration von Noradrenalin kommt es zu einer Stimulierung des sympathischen Nervensystems mit Vasokonstriktion, Tachykardie, Mydriasis und Hyperthermie. Eine Stimulation des zentralen Nervensystems kann sich in einer Steigerung von Aufmerksamkeit, Energie und Gesprächigkeit, in einer Verminderung des

Appetites und einer Veränderung des Sexualverhaltens zeigen [36].

Der Kokainkonsum kann zu vielen Komplikationen führen wie ischämischen und hämorrhagischen Schlaganfällen [34,37], Krampfanfällen [38], Herzinfarkten [39,40], ventrikulärer Tachykardie [40], Myokarditis [40], substanzbezogenen Störungen [41], plötzlichem Tod [38,40] und intestinaler Ischämie [42].

4,2 % der Erwachsenen in Europa (im Alter zwischen 15 und 64 Jahren) haben im Laufe ihres Lebens bereits Kokain konsumiert.

In Europa wird Kokain überwiegend als Kokainpulver gehandelt, das rauchbare Crack ist deutlich seltener. Die Produktion findet überwiegend in Bolivien, Peru und Kolumbien statt. Von dort aus gelangt die Droge über den Luft- und Seeweg nach Europa [43].

Neben den gesundheitlichen Problemen von Drogenkonsumenten gibt es eine Reihe weiterer Gründe, dem Drogenhandel entgegen zu wirken. Zum einen ist der Drogenkonsum sehr häufig mit Straftaten, v.a. Beschaffungskriminalität, verbunden. Zum anderen entstehen hohe Kosten durch den Missbrauch bzw. die Abhängigkeit von illegalen Substanzen. So betragen beispielsweise in Deutschland die direkten Kosten einschließlich der Kosten für Polizeieinsätze, Gefängniskosten, Behandlungen im Maßregelvollzug und Forschung im Jahr 2006 3,57-4,45 Mrd. €. Dazu kamen Ausgaben der Rentenversicherung in Höhe von 171,1 Mio. € und der gesetzlichen Krankenkassen in Höhe von 1,4 Mrd. € [44,45].

1.5 Komplikationen des *Body Packing*

In der Klinik gibt es drei Anlässe, *Body Packern* zu begegnen. Entweder aufgrund einer akuten Intoxikation, aufgrund eines Darmverschlusses oder zum Nachweis von inkorporierten Drogenpäckchen [4,12,20,46].

1980 wurde der Begriff des „*Body Packer Syndroms*“ von Wetli et Mittleman geprägt. Sie beschrieben die ersten Fälle einer akuten Kokain-Intoxikation von *Body Packern* aufgrund einer Semipermeabilität der Verpackung [5].

Der Begriff „*Body Packer Syndrom*“ hat sich seitdem etabliert und inkludiert die Komplikationen der Intoxikation, durch Semipermeabilität der Verpackung oder Ruptur eines oder mehrerer Päckchen, und des Ileus, bei mechanischer Obstruktion durch die Päckchen [22].

In der Literatur sind immer wieder Komplikationen beschrieben, wie Magen-Ileus, Intoxikation [22,47,48], Dünndarm-Ileus [14,22,49] und Ileus mit Ruptur gefolgt von Peritonitis [50]. Auch bei rektal [5,51,52] und vaginal [5] platzierten Päckchen sind Todesfälle durch Intoxikation bekannt. Es gibt jedoch keinen Zusammenhang zwischen der Anzahl der geschluckten *Packets* und dem Risiko dieser Komplikationen [4].

Die intrakorporale Ruptur eines mit Kokain gefüllten Päckchens ist potentiell tödlich. Die Aufnahme von Kokain über die Darmschleimhaut erfolgt sehr schnell und massiv [22].

Die durchschnittliche Dosis i.v. beträgt 10 mg (1-16 mg), die durchschnittliche Dosis per os (p.o.) beträgt 20-50 mg bei einer maximalen Einzeldosis von 100 mg [15]. Die letale Dosis p.o. beträgt 1200 mg, die LD50 beträgt 600 mg. Ein Päckchen enthält in der Regel ein Vielfaches der tödlichen Dosis. Zur Behandlung einer akuten Kokain-Intoxikation existiert kein Antidot [22].

Eine Kokain-Intoxikation zeigt sich initial durch Angstzustände, Tachykardie und Mydriasis. Diesen Symptomen folgen eine Verhaltensveränderung, Fieber, Krampfanfälle, Emesis, respiratorische Insuffizienz, Herzrhythmusstörungen und Herzinsuffizienz. Häufig kommt es zu neurologischen und kardiorespiratorischen Komplikationen [5,22].

Früher kam es häufig zu Komplikationen mit Ruptur, Intoxikation und Tod des *Body Packers*, da die Drogenpäckchen sehr einfach mittels Kondomen, Luftballons, Aluminiumfolie oder Latexhandschuhen verpackt waren. Durch die heute übliche maschinelle Herstellung sind die Päckchen einheitlich in Form und Gewicht. Die Drogen sind stark komprimiert und von mehreren Schichten Latex umhüllt. In der Vergangenheit wurden Mortalitätsraten von 56 % berichtet. Die neuen Herstellungsverfahren haben diese Risiken deutlich reduziert [22,23]. Aktuell werden Mortalitätsraten von 2 % berichtet [23].

1.6 Klinisches Management von *Body Packern*

In der Notaufnahme sollte zunächst im Rahmen einer ausführlichen Anamneseerhebung eine Befragung nach dem Typ, der Anzahl und der Verpackungsart der Päckchen sowie nach gastrointestinalen Symptomen wie Schmerz, Flatulenz, Emesis und Obstipation erfolgen. Die Anzahl der geschluckten Päckchen ist den *Body Packern* in der Regel bekannt, da sie diese später den ortsansässigen Schmugglern aushändigen müssen. Häufig sind die verdächtigen Personen jedoch nicht ehrlich in der Beantwortung dieser Fragen [4]. Weiterhin ist eine körperliche Untersuchung mit rektaler und vaginaler Untersuchung unerlässlich. Insbesondere auf mögliche Symptome einer Intoxikation bei Ruptur eines Päckchens ist zu achten. Hierzu gehören die Bestimmung der Vitalparameter, des mentalen Status, der Pupillengröße, der Darmgeräusche und von Hautveränderungen. Im Falle einer Kokain-Überdosierung kommt es zu Angstzuständen, erweiterten Pupillen, Diaphoresis, Tachykardie und Hypertension gefolgt von Hyperthermie, Krampfanfällen und kardiovaskulärem Kollaps. Meist tritt vor einer kompletten Ruptur eines Päckchens zunächst eine Undichtigkeit auf, sodass bei rechtzeitiger Behandlung katastrophale Folgen verhindert werden können [4].

Früher wurde auch bei asymptomatischen *Body Packern* eine chirurgische Entfernung der Päckchen empfohlen, da es aufgrund der weniger professionellen Verpackung der Päckchen sehr viel häufiger zu Komplikationen mit Päckchen-Ruptur kam [53].

Seit einigen Jahren erfolgt bei asymptomatischen Patienten lediglich eine intensivmedizinische Beobachtung mit spontaner Ausscheidung der Päckchen [4].

Vor allem aufgrund einer professionelleren, und somit im Laufe der Zeit auch sehr viel sicherer gewordenen Verpackungstechnik, ist ein konservatives *Management* der *Body Packer* möglich [22].

Sofern eine sofortige Operation nicht geplant ist, kann eine Dekontamination mit Aktivkohle-Tabletten die Letalität von Kokain mindern [54].

Orale Abführmaßnahmen mit einer Polyethylenglycol-Elektrolyt Spüllösung führen zu einer schonenden Entleerung des Gastrointestinaltraktes und sind für *Body Packer* geeignet [55]. Es sollten keine auf Öl basierenden Laxantien verwendet werden, da diese die Haltbarkeit der Latexummantelung herabsetzen [4].

Eine endoskopische Entfernung von Päckchen ist möglich, jedoch aufgrund des Risikos einer Beschädigung während der Intervention nicht zu empfehlen [4].

Im Falle einer akuten Kokain-Intoxikation, eines Darmverschlusses oder einer Darmperforation, ist eine Operation unerlässlich [4,23,56].

Konservativ behandelte Patienten sollten so lange beobachtet werden, bis alle Päckchen ausgeschieden wurden. Als angemessener Endpunkt für eine Beendigung der Beobachtung wird erachtet, wenn unter kontinuierlichen Abführmaßnahmen für 12 h drei Päckchen-freie Stühle abgegeben werden und auf einer Abdomenübersicht keine Päckchen mehr nachweisbar sind. Ggf. sollten ergänzende Untersuchungen mittels CT (Computertomographie) erfolgen [4].

De Bakker et al. haben einen Algorithmus für die Behandlung von *Body Packern* entwickelt. Wenn *Body Packer* in ein Krankenhaus eingeliefert werden, ist zunächst auf Zeichen einer Intoxikation zu achten. Bei Intoxikations-Verdacht muss eine chirurgische Intervention erfolgen. Bei fehlendem Intoxikations-Verdacht ist als nächstes auf Symptome eines Ileus zu achten. Bei Ileus-Verdacht sollte ebenfalls eine sofortige chirurgische Intervention erfolgen. Sofern weder der Verdacht auf das Vorliegen einer Intoxikation noch auf einen Ileus besteht, kann zunächst eine konservative Behandlung mit oralen Abführmaßnahmen und intensiver Überwachung durchgeführt werden. Bei klinischer Verschlechterung des Patienten mit Zeichen einer Intoxikation oder einer Sepsis, ist eine chirurgische Intervention zu empfehlen [23].

In Abhängigkeit von der geschmuggelten Substanz muss bei der Behandlung einer Intoxikation ein unterschiedliches Verfahren gewählt werden.

Bei einer Heroin-Intoxikation erfolgt die Therapie mittels dem Opiat-Antagonisten Naloxonhydrochlorid, die Dosierung ist abhängig von der Menge der aufgenommenen Droge. In seltenen Fällen tritt eine Opiat-induzierte Lungenschädigung auf, diese wird mit Sauerstoffgabe bzw. ggf. Intubation behandelt.

Bei einer Intoxikation mit Kokain ist eine Antagonisierung nicht möglich. Die sofortige chirurgische Intervention mit der Entfernung der defekten Päckchen ist notwendig. Darüber hinaus müssen ggf. Symptome wie Herzrhythmusstörungen und Hypertension behandelt werden.

Bei einer Ruptur von mit Marihuana oder Haschisch gefüllten Päckchen kommt es in der Regel nicht zu einer lebensbedrohlichen Situation.

Bei einer Intoxikation mit Amphetaminen ist ebenfalls eine sofortige chirurgische Entfernung der rupturierten Päckchen erforderlich [4].

1.7 Diagnostik

Es gibt eine Vielzahl bildgebender Verfahren, die eine Untersuchung des Gastrointestinaltraktes ermöglichen. Im Folgenden werden diese Modalitäten einzeln betrachtet.

1.7.1 Konventionelles Röntgen

Die konventionelle Röntgenuntersuchung des Abdomens zum Nachweis inkorporierter Päckchen erfolgt in stehender Position mit anterior-posteriorem Strahlengang [12].

Die Sensitivität des konventionellen Röntgenbildes zur Detektion von inkorporierten Päckchen beträgt 77-90 % [4,24,57,58], was in erster Linie auf die geringe Kontrastauflösung zurückzuführen ist. In vielen Fällen ist die Interpretation des Röntgenbildes eindeutig. Das Drogenmaterial zeigt sich in Form von vielen, gleichartig geformten, dichten Fremdkörpern, die eine ähnliche Dichte aufweisen wie Stuhl. Das Verpackungsmaterial kann eine höhere Dichte aufweisen und die Diagnostik erleichtern. Jedoch ist das Verpackungsmaterial in über 60 % der Fälle nur schwer abzugrenzen, was zu falsch-positiven und falsch-negativen Ergebnissen führen kann [59]. Darüber hinaus gibt es aber noch eine Reihe weiterer typischer Zeichen, die auf das Vorliegen inkorporierter Päckchen im konventionellen Röntgenbild hindeuten. Das „*double condom sign*“ [57,59,60] zeigt einen transparenten Luftsaum zwischen den verschiedenen Lagen der Ummantelung des Päckchens. Seit einigen Jahren werden die Päckchen zumeist maschinell hergestellt, unter anderem um diesen Luftsaum zwischen den Schichten zu vermeiden [21].

Das „*tic-tac-sign*“ [57] beschreibt den Nachweis mehrerer länglicher, gleichförmiger Päckchen. Das „*rosette sign*“ entsteht durch eingeschlossene Luft in dem Knoten, mit dem das Kondom verschlossen wird [59]. Da neuere Päckchen häufig hitzeversiegelt sind, ist das „*rosette sign*“ sehr selten geworden [15].

Daneben gibt es noch ein weiteres Zeichen, „*parallelism*“, bei dem die relativ dichten Päckchen im Darmlumen parallel aneinander liegend zur Darstellung kommen [59].

Da eine einzige Röntgenaufnahme des Abdomens nicht suffizient ist, um eine genaue Beurteilung auch von Magen und Rektum zu gewährleisten [48], werden am *Amsterdam's Schiphol Airport* zur Beurteilung des gesamten Gastrointestinaltraktes drei Röntgenaufnahmen angefertigt (linker Oberbauch, rechter Mittelbauch und Becken). Diese Methode geht jedoch mit einer erhöhten Strahlenexposition einher [24].

Trotzdem ist die Diagnostik für Radiologen schwierig, da Fremdkörper Stuhl und Luft ähneln können [59]. Vor allem bei Patienten mit Obstipation und eingedicktem Stuhl kann es zu falsch-positiven Ergebnissen kommen [61]. Unsicherheiten des Untersuchers bei der Bildbeurteilung führen dazu, dass der positive Vorhersagewert der konventionellen Röntgenuntersuchung bei 20 % liegt. In solchen Fällen muss gegebenenfalls eine ergänzende CT-Untersuchung erfolgen [48].

Neue Studien zeigen, dass das konventionelle Röntgenbild im Vergleich mit einer CT-Untersuchung signifikant weniger Päckchen abbildet bzw. zu falsch-positiven und falsch-negativen Ergebnissen führt [48,58]. Vor allem bei Vorliegen einer geringen Anzahl von Päckchen (≤ 12) [58], aber auch bei Päckchen, die flüssiges Kokain enthalten [62], ist die diagnostische Aussagekraft der konventionellen Röntgenaufnahme deutlich eingeschränkt.

Schlussendlich ist die konventionelle Röntgenuntersuchung nicht die geeignete Methode, um den Verdacht des *Body Packings* auszuschließen. In Bezug auf diese Fragestellung ist die Methode überflüssig geworden [48].

1.7.2 Sonographie

Die Sonographie ist leicht verfügbar, schnell durchzuführen und eine kostengünstige Methode. Sie ist sehr gut geeignet zum Nachweis freier Flüssigkeit oder eines Ileus.

Meijer et al. konnten in ihrer Studie mittels Ultraschall 47 von 50 Patienten (94 %) mit Verdacht auf *Body Packing* richtig diagnostizieren. Bei zwei Patienten wurden rektal applizierte Päckchen übersehen, da der Untersucher diese Region initial nicht betrachtet hatte. Die Patienten wurden als falsch-negativ diagnostiziert. Ein Patient wurde als falsch-positiv diagnostiziert, da fälschlicherweise Stuhl als Fremdkörper identifiziert wurde, aufgrund einer ähnlichen Signalschwächung von Stuhl und Drogenpäckchen [63].

Schwierigkeiten bei der sonographischen Diagnostik von *Body Packets* ergeben sich bei starker Darmgasfüllung und Kotballen, da es hierdurch zu einer totalen Reflexion der Schallwellen mit dorsaler Schallauslöschung kommt [64].

Daneben kommt es bei stark adipösen Patienten ebenfalls zu einer eingeschränkten Beurteilbarkeit, da durch die längere Distanz zwischen Schallkopf und gastrointestinalen Strukturen ein deutlicher Signalverlust entsteht, wodurch die Bildqualität negativ beeinflusst wird. Zusätzlich ist die Qualität der Untersuchung in erheblichem Maße von der Erfahrung des Untersuchers abhängig sowie von der Kooperativität des Patienten.

Zur Diagnostik von *Body Packets* ist die Sonographie dem konventionellen Röntgenbild unterlegen [64]. Zum Ausschluss von intrakorporalen Drogenpäckchen ist die Sonographie nicht geeignet [65].

1.7.3 Magnetresonanztomographie (MRT)

Die Magnetresonanztomographie bietet ebenfalls wie die Computertomographie die Möglichkeit der Schnittbilddiagnostik, jedoch kommt es hierbei nicht zu einer Strahlenexposition.

Aufgrund des Fehlens beweglicher Protonen in den mit Haschisch, Kokain und Heroin gefüllten Päckchen, lässt sich sowohl in den T1- als auch in den T2-gewichteten Bildern kein charakteristisches Signalverhalten nachweisen. Die Drogenpäckchen sind zwar aufgrund ihres Signalverhaltens eindeutig von Wasser und Speisebrei zu differenzieren, von Darmgasen unterscheiden sie sich allerdings nur aufgrund ihrer Form [21]. Dies führt zu Schwierigkeiten, vor allem bei der Diagnostik im Kolon. Päckchen in Magen, Dünndarm und Rektum sind dagegen leichter zu detektieren. In Abhängigkeit von der Menge des Darmgases können Drogenpäckchen komplett dem Nachweis entgehen, was zu falsch-negativen Ergebnissen führen kann [66].

Päckchen, die flüssiges Kokain enthalten, zeigen in den T1-gewichteten Sequenzen ein hypointenses Signalverhalten und in den T2-gewichteten Sequenzen ein gering hyperintenses Signalverhalten. Dadurch sind diese Päckchen leicht zu detektieren [66]. Weiterhin kann es aufgrund der Peristaltik des Darms zu Artefakten kommen. Dies kann durch motilitätshemmende Medikamente deutlich reduziert werden [1], was jedoch auch die natürliche Ausscheidung der Päckchen verzögert.

Limitationen dieser Untersuchungstechnik bei Patienten mit Verdacht auf *Body Packing* liegen in der schlechten Verfügbarkeit, der langen Untersuchungsdauer und der hohen Kosten, die mit einer MRT-Untersuchung einhergehen.

1.7.4 Computertomographie (CT)

Zur Detektion von „*Body Packets*“ hat sich die native Computertomographie (CT) etabliert, da sie schnell durchzuführen ist und eine genaue Diagnose ermöglicht. Die CT-Untersuchung hat die Vorteile einer hohen Sensitivität und Spezifität sowie eines hohen positiven und negativen Vorhersagewertes. Darüber hinaus gibt sie genaue Informationen über die Lokalisation, Anzahl, Größe und Form der Päckchen sowie mögliche Komplikationen. Insbesondere zur Detektion von mit flüssigem Kokain gefüllten Päckchen ist sie dem konventionellen Röntgenbild überlegen [67]. Trotzdem kann es auch bei dieser Technik zu falsch-negativen Ergebnissen kommen. So wurde beispielsweise ein Fall eines übersehenen letzten Päckchens in einer Abdomen-CT mit oralem Kontrastmittel berichtet [68].

Die mit dieser Technik einhergehende Strahlenexposition ist jedoch vergleichsweise hoch [58]. Da die zu untersuchenden Patienten zumeist jung sind und sich der Verdacht des *Body Packing* häufig nicht bestätigt, ist der Einsatz dieser Technik zur Diagnostik von *Body Packing* kritisch zu betrachten [69].

Durch die Verwendung von *Low-Dose*-Protokollen ist es jedoch möglich, die Strahlenexposition stark zu vermindern und Strahlendosen zu erzielen, die mit denen von konventionellen Röntgenuntersuchungen vergleichbar sind [48,58,69]. Die Dosisreduktion wird durch eine Reduktion der Röhrenspannung und des Röhrenstromes erreicht [48,69]. Trotzdem ist die diagnostische Aussagekraft sehr genau, wie zum Beispiel bei der Detektion von *Body Packets* im Tiermodell gezeigt wurde [70]. Zum Nachweis einer Nephrolithiasis reichen Sensitivität und Spezifität der *Low-Dose*-CT nah an die Werte der Standard-Abdomen-CT heran [71]. Ähnliche Ergebnisse liegen zum Nachweis von Uretersteinen > 2 mm vor [72]. Auch zur Diagnostik einer akuten Appendizitis ist die Aussagekraft der *Low-Dose*-CT vergleichbar mit der einer Standard-Abdomen-CT [73]. Da die Kokain-Päckchen zumeist hyperdens zur Darstellung kommen, ist bei der Verwendung eines *Low-Dose*-Protokolls keine Einschränkung der Beurteilbarkeit zu erwarten [48,69,74].

In Tabelle 1 sind einige Studien abgebildet, die zeigen, dass die Strahlenexposition einer *Low-Dose*-CT-Untersuchung deutlich geringer ist als bei einer Standard-Abdomen-CT-Untersuchung und vergleichbare Dosiswerte erreicht werden, wie bei einer konventionellen Röntgenuntersuchung. In Tabelle 2 sind beispielhaft Parameter für Röhrenstrom und Röhrenspannung der *Low-Dose*-Protokolle einiger Studien wiedergegeben.

Tabelle 1: Durchschnittliche effektive Dosis einer Untersuchung des Abdomens bei Patienten mit Verdacht auf *Body Packing*

Studie	Konventionelles Röntgen (Effektive Dosis)	Low-Dose-CT (Effektive Dosis)	Standard-CT (Effektive Dosis)
Schulz et al. [48]	1,5 mSv	2,1 mSv	9,4 mSv
Pache et al. [69]	-	2,23 ± 0,72 mSv	-
Poletti et al. [58]	2,0 ± 0,7 mSv (F) 1,3 ± 0,4 mSv (M)	1,7 ± 0,2 mSv (F) 1,2 ± 0,1 mSv (M)	-
Bulakci et al. [67]	1,36 ± 0,09 mSv	-	8,33 ± 0,81 mSv

mSv: Millisievert; CT: Computertomographie; F: Frauen; M: Männer

Tabelle 2: Parameter für Röhrenstrom und Röhrenspannung exemplarischer Low-Dose-Protokolle

Studie	Röhrenstrom	Röhrenspannung
Schulz et al. [48]	120 kV	50 mA
Pache et al. [69]	120 kV	30 mAs oder 60 mAs
Poletti et al. [58]	120 kV	30 mAs

kV: Kilovolt; mA: Milliampere; mAs: Milliamperesekunde

Zur Diagnostik von *Body Packern* ist das konventionelle Röntgenbild ungeeignet im Vergleich mit einer CT-Untersuchung. Da die Aussagekraft der *Low-Dose-CT* im Vergleich mit der Standard-Abdomen-CT nicht beeinträchtigt wird [48] und es mit dieser Technik nicht zu einer relevanten Erhöhung der Strahlenexposition im Vergleich mit einer konventionellen Röntgenuntersuchung kommt [58], ist die *Low-Dose-CT*-Untersuchung ausreichend zur primären Diagnostik bei Verdacht auf *Body Packing*. Wenn diese Untersuchung keine Drogenpäckchen nachweist, ist der Verdacht des *Body Packing* eindeutig ausgeschlossen und keine weitere Diagnostik nötig [48].

1.7.5 CT-Localizer

In einer Versuchsreihe mit einem Schweinekadaver haben Ziegeler et al. die Aussagekraft sowie die Strahlenexposition von *CT-Localizern* bei verschiedenen Röhrenspannungen mit konventionellen Röntgenbildern anhand des Nachweises von rektal platzierten *Body Packets* (Heroin) miteinander verglichen. Das Ergebnis zeigt eine höhere Sensitivität des *CT-Localizers*, sogar bei der geringsten Röhrenspannung (80 mA und 120 kV) mit Werten von 44 % in einer Ebene und 56 % in zwei Ebenen im Vergleich mit dem konventionellen Röntgenbild (77 kV und 106 ± 13 mAs) mit Werten von 11 %. Auch die Strahlenexposition war um ein Vielfaches geringer. So lag die effektive Dosis der konventionellen

Röntgenuntersuchung bei $2,39 \pm 0,29$ mSv und die eines CT-Localizers in einer Ebene bei der niedrigsten Röhrenspannung bei 0,36 mSv, in zwei Ebenen bei 0,72 mSv [75].

Es gibt bereits einige Studien, die die Aussagekraft des CT-Localizers und des konventionellen Röntgenbildes anhand verschiedener Fragestellungen miteinander verglichen haben. Beispielsweise ist zum Nachweis von Uretersteinen [76] und zum Nachweis einer Beinlängendifferenz nach Hüft-TEP-OP [77] die konventionelle Röntgendiagnostik dem CT-Localizer überlegen.

1.8 Computertomographie

1.8.1 Funktionsweise der Computertomographie

Im Gegensatz zur konventionellen Röntgenuntersuchung, die ein Überlagerungsbild aller durchstrahlten Strukturen liefert, ist mit einer CT-Untersuchung eine Anfertigung überlagerungsfreier Schichtbilder möglich.

Ein Computertomograph besteht im Wesentlichen aus einer rotierenden *Gantry* und einem Patiententisch. Die *Gantry* enthält unter anderem den Röntgenstrahler, den Generator und den Detektor. Weiterhin gehören mehrere Computersysteme zur Steuerung des CTs und der Bildrekonstruktion dazu [78].

Eine CT-Untersuchung funktioniert nach dem Abtastprinzip. Hierbei wird der Patient von einem Röntgenstrahl aus verschiedenen Richtungen abgetastet. Bei den heute verwendeten *Scannern* der 3. Generation rotieren die Röntgenröhre und der Detektor synchron um den Patienten. Unter kontinuierlichem Vorschub des Patienten auf dem CT-Tisch erfolgt eine spiralförmige Abtastung. Bei den so aufgenommenen Volumendaten kommt es nicht zu einer Fehl- oder Doppelregistrierung anatomischer Strukturen und es ist möglich, die Bilder an beliebigen Positionen zu rekonstruieren [78,79].

Die Multidetektor-CTs verfügen über mehrere parallele Detektorzeilen, die gleichzeitig Rohdaten erfassen können. Der Röntgenstrahl wird durch parallele Kollimation zu einem dünnen Fächer geformt, der die Schichtdicke definiert. Nach der Durchdringung des zu untersuchenden Körperabschnittes werden die Röntgenstrahlen von einem Detektor erfasst. Es kommt zu einer Schwächung der Röntgenstrahlung, die mittels einer mathematischen Bildrekonstruktion in sog. „CT-Werte“ umgerechnet werden kann und schließlich in Graustufen kodiert und als Bild dargestellt wird [79].

Der „CT-Wert“ wird in *Hounsfield*-Einheiten (HE) angegeben und ist ein Maß für die Röntgenschwächung des zugehörigen Voxels. Der niedrigste Wert der *Hounsfield*-Skala ist -1000 HE für Luft, ein Wert von 0 HE entspricht Wasser, -100 HE entspricht Fett, Muskelgewebe hat einen Wert von etwa 50-100 HE, die parenchymatösen Organe des

Oberbauches (z. B. Niere, Nebenniere, Pankreas und Leber) liegen in einem Bereich von 20-80 HE, Blut ist ein Bereich von 50-75 HE zugeordnet, Knochen kann Werte bis zu 2000 HE aufweisen. Nach oben ist die Skala offen [78,79].

Da das menschliche Auge lediglich eine begrenzte Anzahl von Graustufen (ca. 40-100) unterscheiden kann, ist es notwendig, verschiedene „Fenster“ anzufertigen, bei denen die Graustufen von weiß bis schwarz auf einen eingeschränkten Bereich der *Hounsfield*-Skala verteilt werden. Ein enges Fenster führt zu einer verbesserten Darstellung kontrastarmer Strukturen, ein weites Fenster führt zu einer verbesserten Darstellung von sehr variierenden CT-Werten wie z. B. Knochen und Lungenparenchym.

Ein wichtiger Einflussfaktor für die Ortsauflösung und das Bildrauschen ist der „Faltungskern“. Bei der Bildrekonstruktion wird jeder durch einen Punkt laufende Röntgenstrahl übereinander projiziert (Rückprojektion), zu einer Projektion zusammengefasst und das entstehende Schwächungsprofil einer kantenbetonenden mathematischen Filterung, die durch den „Faltungskern“ bestimmt wird, unterworfen. Dieser Vorgang wird als „Faltung“ bezeichnet. Ein scharfes Bild entsteht durch die Rückprojektion der gefilterten Schwächungsprofile. Bei der „gefilterten Rückprojektion“ dient der Faltungskern als Rekonstruktionsalgorithmus und definiert die Ortsauflösung und das Bildrauschen der rekonstruierten CT-Schichten. Der Faltungskern variiert hierbei zwischen weich und hochauflösend.

Ein höherer Faltungskern verbessert die Ortsauflösung, führt jedoch auch zu einem überproportionalen Anstieg des Bildrauschens.

Beispielsweise nimmt die Bildschärfe beim Lungenparenchym zu, wenn ein hochauflösender Faltungskern verwendet wird. Beim Leberparenchym ist ein glättender Faltungskern sinnvoll, da aufgrund des niedrigen Kontrastunterschiedes, Strukturen durch das Bildrauschen dem Nachweis entgehen können [79].

Die Untersuchungsparameter werden unterteilt in Aquisitionsparameter und Rekonstruktionsparameter.

Die wichtigsten Aquisitionsparameter sind Kollimation (C), Pitch (P), Rotationszeit (T), Röhrenstrom (mA) und Röhrenspannung (kV).

Rekonstruktionsparameter sind das Rekonstruktionsinkrement und die Schichtdicke.

Es gibt zwei Arten von Kollimatoren. An der Strahlenquelle verhindert der Kollimator eine übermäßige Strahlenexposition des Patienten, in dem er den Strahlenfächer kontrolliert und formt. Unmittelbar vor den Detektoren schirmt er den Detektor gegen Streustrahlung ab. Die Kollimation beeinflusst die örtliche Auflösung der Untersuchung und beschreibt die Dimension (mm) der Kollimatoröffnung.

Der Pitch (P) gibt den kontinuierlichen Tischvorschub (TF) während einer vollständigen Umdrehung der *Gantry* an.

$P = TF / (n \times C)$, wobei n: Anzahl der aktiven Detektorzeilen.

Ein Pitch < 1 gibt eine überlappende Datenaufnahme an, bei einem Pitch > 1 erfolgt die Datenaufnahme mit Lücken.

Die Rotationszeit (T) gibt die Zeit an, die für eine vollständige Rotation der *Gantry*, also des Röhren-Detektor-Systems, benötigt wird.

Der Röhrenstrom (mA) ist der Strom, der zur Heizung der Kathode der Röntgenröhre angegeben wird. Das Röhrenstrom-Zeit-Produkt (mAs) wird als Belichtung beschrieben und entspricht dem Produkt aus Röhrenstrom und Rotationszeit [78].

Der Röhrenstrom ist proportional zur Patientendosis und zur Detektordosis, wenn Röhrenspannung und Strahlenfilterung konstant sind. Die mAs pro Röhrenrotation ist ein Maß für die Detektordosis und die mAs pro Rotation geteilt durch den Pitch bestimmt die Patientendosis. Bei hohen mAs-Einstellungen kommt es zu einer Verbesserung der Bildqualität durch ein vermindertes Bildrauschen mit der Möglichkeit, hochauflösende Faltungskerne zu verwenden. Die Expositions-dosis für den Patienten wird hierdurch jedoch auch erhöht [79].

Die Röhrenspannung (kV) ist die Spannung, die in der Röntgenröhre zwischen Kathode und Anode zur Beschleunigung der Elektronen angelegt wird. Hierdurch werden die Energie der Protonen und somit auch das Spektrum der Röntgenstrahlung bestimmt [78]. Bei höherer Röhrenspannung und konstanter mAs nimmt die Strahlungsintensität der Röntgenröhre zu. Dadurch steigt der CT-Dosisindex (CTDI, siehe unten). Bei höherer Strahlungsenergie nimmt die Schwächung der Strahlung im Patienten ab [79].

Der Abstand der rekonstruierten Schichten wird durch das Rekonstruktionsinkrement definiert, in dem es den Grad der Überlappung zwischen zwei axialen Schichten bestimmt. Die Schichtdicke ist die Dicke eines einzelnen Schnittes und wird durch die Kollimation der Röntgenstrahlung bestimmt.

Daneben gibt es noch weitere Rekonstruktionsalgorithmen, wie die gefilterte Rückprojektion und die iterative Rekonstruktion. Die gefilterte Rückprojektion ist oben bereits beschrieben. Bei der iterativen Rekonstruktion werden nicht vorhandene Projektionsdaten künstlich erzeugt und mit den gemessenen Rohdaten verglichen. Hierdurch werden das Rauschen reduziert und die Auflösung von Regionen mit hoher Dichte verbessert [78].

1.8.2 Dosisparameter

Energiedosis (D)

Die Energiedosis ist definiert als die mittlere Energie, die durch ionisierende Strahlung in den spezifischen Absorber eingebracht wird. Die Einheit ist Gy (Gray), $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$. Der spezifische Absorber wird charakterisiert durch seine Masse entsprechend seiner Dichte und seines Volumens [78].

Volumenbezogener CT-Dosisindex (CTDI_{vol})

Dieser Wert gibt die durchschnittliche lokale Dosis für den Patienten innerhalb des Untersuchungsvolumens, also einer axialen Schicht, an. Die Einheit ist mGy. Es gibt Unterschiede der Daten für Untersuchungen am Körperstamm und im Kopf-Hals-Bereich. Dieser Wert wird von den CT-Systemen direkt angezeigt und bezieht den Einfluss von Pitch, mAs, kV, Filterung und anderen gerätespezifischen Parametern unmittelbar mit ein. Er stellt jedoch kein Maß für die individuelle Strahlenexposition des Patienten dar, sondern gilt als Dosisindikator für die jeweilige Untersuchung an einem definierten Gerät [79].

Dosis-Längen-Produkt (DLP)

Dieser Wert misst die kumulative Patientendosis und wird ermittelt aus der Multiplikation des CTDI_{vol} mit der Länge des Untersuchungsvolumens.

$$\text{DLP} = \text{CTDI}_{\text{vol}} \times \text{cm} \text{ (mGy} \times \text{cm) [79]}$$

Effektive Dosis (E)

Die effektive Dosis ist ein Maß für die Strahlenexposition des Patienten durch ionisierende Strahlung unter Berücksichtigung der relativen Strahlenempfindlichkeit der exponierten Organe. Die Einheit ist Sievert (Sv). $1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$.

Die effektive Dosis wird für einen standardisierten männlichen oder weiblichen Patienten anhand eines mathematischen Modells berechnet, das organ- und regionsabhängige Faktoren entlang der z-Achse berechnet.

Eine andere Methode der Ermittlung der effektiven Dosis basiert auf dem DLP und einem mittleren Umrechnungsfaktor (Tabelle 3) für die entsprechende Untersuchungsregion.

$$E = k \times \text{DLP}, \text{ wobei } k: \text{ untersuchungsregionsspezifischer Konversionsfaktor}$$

Tabelle 3: Konversionsfaktoren k in (mSv/(mGy x cm)) von verschiedenen Untersuchungsregionen nach Patientenalter aus [78] nach IRCP-Report #61

Patientenalter	1 Lebensjahr	10 Lebensjahre	Erwachsener
Schädel	0,0067	0,0032	0,0021
Hals	0,012	0,0079	0,0059
Schädel und Hals	0,0085	0,0042	0,0031
Thorax	0,026	0,013	0,014
Abdomen und Becken	0,030	0,015	0,015

mSv: Millisievert, mGy: Milligray, cm: Zentimeter

1.8.3 CT-Localizer

Der *CT-Localizer* dient der Planung und Lokalisierung der CT-Untersuchung. Es gibt mehrere synonym verwendete Begriffe wie Topogramm, Übersichtsradiogramm, *Scout* und *Pilot-Scan*. Zur Erstellung des *CT-Localizers* fährt der Untersuchungstisch bei stationärer Röhre durch die *Gantry*. Auf diese Weise entsteht ein Projektionsradiogramm, das einem konventionellen Röntgenbild ähnelt. Da die Streustrahlung aufgrund der *Scanner*-Geometrie deutlich reduziert ist, kommt es unter anderem zu einer besseren Abgrenzbarkeit abdominaler Organkonturen. Jedoch ist die Ortsauflösung relativ gering. Auch bei der Erstellung des *CT-Localizers* kann durch Reduktion von kV- und mAs-Einstellungen eine Dosisreduktion erzielt werden [79].

1.9 Ionisierende Strahlung

1.9.1 Biologische Strahlenwirkung

Da es einen Zusammenhang zwischen der exponierten Strahlendosis und dem Risiko einer Krebserkrankung gibt [80], ist die Strahlendosis bei der Untersuchung der zumeist sehr jungen Patienten ein wichtiger Faktor.

Es gibt drei Arten von Schädigungen durch ionisierende Strahlung:

- Genetische Effekte in nachfolgenden Generationen durch Mutationen in Keimzellen
- Aktivierung von Onkogenen oder Löschung von Tumorsuppressorgenen durch Mutationen in somatischen Zellen, was eine Karzinogenese induzieren kann
- Induktion von Zelltod (erwünscht bei der Strahlentherapie, nicht erwünscht bei der Embryogenese) [81]

In ihrer Übersichtsarbeit haben Brenner et al. nach Mitleman et al. eine kurze Zusammenfassung der biologischen Wirkung ionisierender Strahlung herausgearbeitet. Ionisierende Strahlung, wie Röntgenstrahlung, hat genug Energie um die Bindungsenergie der Elektronen zu überwinden und diese aus einem Atom oder Molekül herauszulösen. Dadurch können Ionen entstehen. Wenn Röntgenstrahlen auf biologisches Material treffen, kommt es häufig zur Entstehung von Hydroxyl-Radikalen durch die Interaktion der Röntgenstrahlung mit Wassermolekülen. Diese Radikale können DNA-Schäden (*Desoxyribonucleid Acid*) in Form von Strangbrüchen oder Basenschäden verursachen. Auch eine direkte Ionisierung der DNA ist möglich. Durch verschiedene Reparaturmechanismen innerhalb der Zellen sind die meisten Schäden schnell wieder behoben. Doppelstrangbrüche der DNA sind jedoch schwerwiegender zu beheben und Fehler an dieser Stelle können zu Punktmutationen, chromosomaler Translokation und Genfusion führen, was Grundlage einer Krebserkrankung sein kann [82] (nach Mitelman F, Johansson B, Mertens FE. Mitelman database of chromosome aberrations in cancer. Cancer Genome Anatomy Project, 2007. Accessed November 5, 2007, at <http://cgap.nci.nih.gov/Chromosomes/Mitelman>).

Die Radioempfindlichkeit des Gewebes ist umgekehrt proportional zur Differenzierung der Zellen. Es besteht eine direkte Proportionalität der Radioempfindlichkeit des Gewebes zur Reproduktivität der Zellen, da die Zeit, Reparaturen vorzunehmen, abnimmt mit der Geschwindigkeit der Zellteilungen. Aus diesem Grund besteht die größte Strahlenempfindlichkeit im embryonalen Zustand [83].

Es werden zwei Arten von Strahlenwirkungen unterschieden. Zum einen gibt es die „deterministische Wirkung“ oder „nicht-stochastische Wirkung“. Hierzu zählen Frühschäden, die unmittelbar nach der Strahlenexposition nach Übertreten einer gewissen Schwellendosis auftreten wie z. B. Strahlendermatitis. Sie sind proportional zur Dosis.

Daneben gibt es die „stochastische Wirkung“, die mit einer steigenden Wahrscheinlichkeit für die Entstehung einer Krebserkrankung einhergeht. Hierzu zählen Spätschäden, die nach einer Latenzperiode auftreten, die mehrere Jahrzehnte betragen kann. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens dieser Strahlenfolgen nimmt mit der Dosis zu, nicht jedoch die Ausprägung der Erkrankung [83,84].

Für Dosisbereiche, wie sie in der medizinischen Diagnostik zur Anwendung kommen, ist es schwer, genaue Aussagen bzgl. des „stochastischen“ Krebsrisikos zu treffen. Es werden daher Schätzungen aus Hochrechnungen von wesentlich höheren Strahlendosen nach der linearen Dosis-Effekt-Beziehung angestellt [84]. Die lineare Dosis-Effekt-Beziehung beschreibt einen linearen Zusammenhang zwischen absorbierter Dosis und

der Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Strahlenerkrankung, unter der Annahme, dass es keine Schwellendosis gibt [83]. Mehrere Untersuchungen summieren sich und es kommt zu einem proportionalen Anstieg des Krebsrisikos. Das Risiko von vererbaren Effekten auf Keimzellen erscheint deutlich geringer als das Risiko einer Krebserkrankung. Es wird angenommen, dass etwa 5 % einer Population, die einer effektiven Dosis von 1 Sv ausgesetzt waren, im Laufe ihres Lebens eine Krebserkrankung erleiden, für gewöhnlich nach einer Latenzperiode von mehreren Jahren oder Jahrzehnten. Umgerechnet kann man sagen, dass das Risiko einer Krebserkrankung mit höheren Organdosen proportional zunimmt und bei einer effektiven Dosis von 100 mSv sich um etwa 0,5 % erhöht hat. Das Risiko ist für Kinder, junge Erwachsene und während der Schwangerschaft deutlich höher [84].

Beispielsweise liegt das Krebsrisiko bei Patienten, die mit einer Dosis von 10 mSv bestrahlt wurden bei 5×10^{-4} , was bedeutet, dass von 10 000 Personen etwa 5 Personen an einem Krebsleiden erkranken werden. Das Risiko, einen tödlichen Unfall zu erleiden, liegt in der Bundesrepublik Deutschland ebenfalls bei 5×10^{-4} .

Bei genetischen Schäden kommt es zu einer Strahlenabsorption der Keimzellen, die zu Mutationen führen und sich in der nachfolgenden Generation manifestieren. Bis zum 35. Lebensjahr kommt es aufgrund von Umwelteinflüssen zu etwa 140 Genmutationen. Eine einmalige Bestrahlung mit einer Dosis von 10 mSv hat im Mittel etwa 2 weitere Mutationen zur Folge. Somit liegt das gemittelte Risiko einer vererbaren Strahlenwirkung bei $10^{-4}/10 \text{ mSv}$ [83].

1.9.2 Umweltradioaktivität

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich zusammen aus der terrestrischen Strahlung, der kosmischen Strahlung und der Inkorporation von Radionukliden. Darüber hinaus kommt es zu weiteren Expositionen durch die zunehmende Technisierung der Umwelt, entsprechend der zivilisationsbedingten Strahlenexposition.

In Westeuropa liegt die Exposition durch die kosmische Strahlung bei 0,3 mSv/Jahr. Das Erdmagnetfeld schirmt die geladenen Teilchen zu einem gewissen Anteil ab, dadurch kommt es zu geographischen Schwankungen. Je höher man sich befindet, desto geringer ist die abschirmende Wirkung, so dass bei einer Flugreise in einer Höhe von 12-14 km eine Strahlenexposition von 5 $\mu\text{Sv}/\text{Stunde}$ erreicht werden kann.

Die terrestrische Strahlung wird von natürlichen Radioisotopen in der Erdkruste verursacht. Dies sind vor allem Kalium, Radium und Thorium. Die mittlere Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland liegt bei 0,5 mSv/Jahr. Dieser Wert ist in Abhängigkeit von der geographischen Lage und der Konzentration dieser Radioisotope in der Erde sehr variabel.

Die Inkorporation von Radionukliden erfolgt über die Aufnahme aus der Atemluft, dem Trinkwasser und von Nahrungsmitteln. Die Inhalation des Edelgases Radon macht den überwiegenden Anteil aus. Insgesamt kommt es hierbei zu einer jährlichen Strahlenexposition von 1,5 mSv, dabei entfallen 1,1 mSv auf die Inhalation von Radon.

Somit beträgt die mittlere Gesamtstrahlenexposition aus kosmischer und terrestrischer Strahlung sowie der Inkorporation von Radionukliden 2,3 mSv/Jahr.

Zusätzlich zu den natürlichen Strahlenquellen existieren weitere Expositionen durch einen zivilisationsbedingten Anteil. Dieser besteht hauptsächlich aus Röntgen-, β - und γ -Strahlung in der Medizin. Die größten Strahlenexpositionen treten hierbei in der Tumorthherapie auf, im Rahmen der Bestrahlungen. Die mittlere effektive Dosis pro Kopf in der Bundesrepublik Deutschland, verursacht durch Röntgendiagnostik, liegt bei 1,9 mSv/Jahr, dazu kommen etwa 0,05 mSv/Jahr durch nuklearmedizinische Verfahren.

Daneben fallen weitere zivilisationsbedingte Strahlenquellen kaum ins Gewicht. Beispielsweise sind die ursprünglich beträchtlichen Strahlenexpositionen durch den radioaktiven *Fallout* nach Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre in den 60er Jahren fast vollständig abgeklungen. Auch die Belastung durch störungsfrei laufende Kernkraftwerke ist sehr gering [83].

Tabelle 4 zeigt eine Übersicht über die jährliche Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland in Abhängigkeit von der Strahlenquelle. Tabelle 5 gibt eine Übersicht über beispielhafte radioaktive Expositionen.

Tabelle 4: Mittlere Strahlenexposition des Menschen aus natürlichen und zivilisatorischen Strahlenquellen in der Bundesrepublik Deutschland aus [83]

Quelle	Mittlere Exposition/Jahr
Natürliche Strahlenquellen	
kosmische Strahlung	≈ 0,3 mSv
terrestrische Strahlung	≈ 0,5 mSv
Inkorporation von Radionukliden	≈ 1,5 mSv
Gesamte natürliche Strahlenexposition	≈ 2,3 mSv
Zivilisatorische Strahlenquellen	
Medizin, Röntgendiagnostik	≈ 1,9 mSv
Nuklearmedizin	≈ 0,05 mSv
Naturwissenschaft und Technik	≤ 0,01 mSv
Strahlenexposition im Beruf	≈ 0,03 mSv
Gesamte zivilisatorische Strahlenexposition	≈ 2,0 mSv
Gesamte mittlere jährliche Strahlenexposition	≈ 4,3 mSv

mSv: Millisievert

Tabelle 5: Beispiele der Strahlenexposition in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren aus [83]

Art der Exposition	Dosis/Dosisleistung
Flug Frankfurt - New York	0,03 mSv
Thorax-Röntgenaufnahme	0,1 mSv
Normaler Raucher	0,5 mSv/Jahr
Grenzwert Überwachungsbereich	1 mSv/Jahr
Starker Raucher	1 mSv/Jahr
Natürliche Strahlenexposition	2,3 mSv/Jahr
Unterer Grenzwert Kontrollbereiche (Kategorie A)	6 mSv/Jahr
Computertomographie Thorax	10 mSv
Grenzwert für strahlenexponierte Personen	20 mSv/Jahr
Max. Lebensdosis für strahlenexponierte Personen	400 mSv
Letale Dosis	4000 mSv

mSv: Millisievert

Die *European Society of Radiology* (ESR) hat eine deutliche Zunahme der medizinischen Strahlenbelastung im Laufe der letzten Jahre festgestellt, die überwiegend auf CT-Untersuchungen zurück zu führen ist. In einigen Ländern liegt der medizinische Anteil der Bevölkerungsdosis bei 50 %, ähnlich wie in den USA [84].

1.9.3 Maßnahmen zum Strahlenschutz im CT

Es ist zu beachten, dass der Nutzen der Röntgenuntersuchung das assoziierte potentielle Risiko überwiegt. Aus diesem Grund ist die Indikation für eine Untersuchung kritisch zu prüfen. Von den nationalen Behörden wurden diagnostische Referenzwerte für verschiedene computertomographische Untersuchungen veröffentlicht, die jedoch keine Dosisbeschränkung darstellen.

Daneben muss darauf geachtet werden, die Strahlenexposition beim Umgang mit ionisierender Strahlung möglichst gering zu halten. In diesem Zusammenhang gibt es das ALARA-Prinzip. ALARA steht für „*As Low As Reasonably Achievable*“.

Neben gerätespezifischen Faktoren zur Dosisreduktion wie *Gantrygeometrie* und Empfindlichkeit der Detektoren gibt es eine Reihe parameterspezifischer Strategien zur Dosisreduktion, die unter anderem eine Reduktion von Röhrenstrom und Röhrenspannung oder eine Erhöhung des Pitch beinhalten [78].

Weiterhin kann die effektive Dosis einer CT-Untersuchung reduziert werden durch Techniken wie „*automated exposure control*“ und iterative Bildrekonstruktion aber auch durch eine geringere Anzahl der Scan-Phasen oder einer Erhöhung der Schichtdicke [85].

1.10 Rechtliche Aspekte

Pache et al. haben die rechtliche Grundlage in Bezug auf die Untersuchung von potentiellen *Body Packern* erörtert.

Nach Pache et al. bestehen keine juristischen Probleme bei einer Röntgen- oder CT-Untersuchung mutmaßlicher *Body Packer*, sofern eine Einwilligung zu körperlichen Untersuchungen und Eingriffen aus freiem Entschluss gegeben wurde (vgl. Lutz Meyer-Großner, Kommentar zur Strafprozessordnung, 52. Auflage 2009, §81a, Rn.4.). Bei fehlender Einwilligung ist auf die umstrittene Rechtsgrundlage der Strafprozessordnung (StPO), §81a zurückzugreifen. In einem solchen Fall muss jedoch besonders auf den Verhältnismäßigkeitsgrundsatz geachtet werden. Sofern für das Verfahren von besonderer Bedeutung, darf zur Feststellung von Tatsachen eine körperliche Untersuchung von Tatverdächtigen angeordnet werden.

Die von einem Arzt nach den Regeln der ärztlichen Kunst durchgeführten Untersuchungen wie Blutentnahmen und andere körperliche Eingriffe, sind bei fehlender

Einwilligung jedoch nur dann zulässig, wenn ein Nachteil für die Gesundheit des Tatverdächtigen nicht zu befürchten ist.

Nach juristischem Schrifttum sowie in der Rechtsprechung gehören Röntgen- und CT-Untersuchungen zu den, im Sinne von §81a StPO zulässigen körperlichen Untersuchungen. (Erb/Esser/Franke/Graalman-Scheerer/Hilger/Ignor, Kommentar zur StPO und Gerichtsverfassungsgesetz, 26. Auflage 2006, §81a StPO Rn.59 [Kraus]; Körner, Kommentar zum Betäubungsmittelgesetz und Arzneimittelgesetz, 6. Auflage 2007, §29 BtMG Rn.995; Pfeiffer, Kommentar zur StPO 5. Auflage 2005, StPO §81a Rn.5; OLG Schleswig NSTZ 1982, 81).

Zur Anfertigung einer Röntgenuntersuchung gegen den Willen des Tatverdächtigen ist grundsätzlich eine ausdrückliche richterliche Anordnung in Form eines Beschlusses erforderlich. Bei Gefahr im Verzug ist jedoch eine Ausnahmesituation gegeben, bei der eine Zuständigkeit der Staatsanwaltschaft und ihrer Ermittlungspersonen, den Polizeibeamten, besteht und der Eingriff durch diese auch mündlich angeordnet werden kann. Die Anordnung muss jedoch in jedem Fall den Eingriff und die durch ihn festzustellende Tatsache bezeichnen (Lutz Meyer-Großner, a.a.o., §81a, Rn.27, mit dem Hinweis, dass bei schweren Eingriffen auch ihre Notwendigkeit und Unerlässlichkeit zu nennen sind). Schwere Eingriffe dürfen dagegen ausschließlich durch einen Richter angeordnet werden (BVerfGE 16, 193 = NJW 1963, 1597). Röntgen- und CT-Untersuchungen sind jedoch nicht als schwer anzusehen.

Häufig ist die Sachlage „Gefahr im Verzug“ jedoch fraglich. Das Oberlandesgericht (OLG) Karlsruhe (Az. 2 Ws 77/04) hat mit einem Beschluss von 07.05.2004 rechtliche Bedenken gegen eine Röntgenuntersuchung erhoben, die durch die Staatsanwaltschaft angeordnet wurde. Röntgenuntersuchungen, nach den Regeln der ärztlichen Kunst und ohne gesundheitlichen Nachteil, sind nur dann zulässig, wenn eine richterliche Anordnung vorliegt. Die Begründung des Sachverhaltes „Gefahr im Verzug“ mit der generellen Gesundheitsgefahr bei Verbleib der „*Body Packets*“ im Körper des Tatverdächtigen, lehnte das OLG Karlsruhe ab. Gefahr im Verzug bestehe lediglich bei drohendem Beweismittelverlust.

In Bezug auf den Aspekt der gesundheitlichen Nachteile einer angeordneten Untersuchung muss diese mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen sein. Im Rahmen einer CT-Untersuchung wird den rechtlichen Vorgaben entsprochen, da dieser Technik ein gesundheitliches Risiko nicht zugesprochen wird (Ostertag/Sternsdorff, NJW 77, 1482, 1486) [69].

Eine Unterscheidung von Röntgen- und CT-Untersuchung wurde in der Rechtsprechung jedoch noch nicht vorgenommen, trotz erheblicher Unterschiede in der Strahlenexposition dieser beiden Modalitäten [69,80].

Ein weiterer zu beachtender Aspekt bei der Anordnung einer körperlichen Untersuchung gegen den Willen des Tatverdächtigen ist der Verhältnismäßigkeitsgrundsatz. Hierdurch wird der Körper zum „Augenscheinobjekt“ und Eingriffe in das Grundrecht der körperlichen Unversehrtheit werden zulässig (Art.2 Abs. 2 S. 1 GG) (Pfeiffer, a.a. O., 5. Auflage 2005, StPO §81a, Fn. 1). Die Maßnahme muss zur Erreichung des geforderten Zweckes kausal geeignet sein und darf nicht außer Verhältnis zur Bedeutung der Sache und zur Stärke des bestehenden Tatverdachtes stehen (BVerfG NJW 1996, 3071). Die Anordnung einer Maßnahme ist somit nur zulässig, sofern eine Unerlässlichkeit vorliegt und eine angemessene Verhältnismäßigkeit zur Schwere der Tat gegeben ist (BVerfG, NJW 2004, 3697).

Ostertag und Sternsdorf betrachteten bereits 1977 die mit einer CT-Untersuchung einhergehende Strahlenexposition als im Einklang mit dem Verhältnismäßigkeitsgrundsatz (Ostertag/Sternsdorf, NJW 77, 1482, 1486). Bis heute werden eine CT-Untersuchung sowie eine konventionelle Röntgenuntersuchung von der Rechtsprechung als zulässig erachtet (OLG Karlsruhe NSTZ 2005, 399; OLG Schleswig NSTZ 1982, 81). Allerdings hat sich das Bundesverfassungsgericht mit dieser Fragestellung noch nicht befasst [69].

2 Ziele der Arbeit

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der diagnostischen Aussagekraft des *CT-Localizers* bei Patienten mit Verdacht auf *Body Packing* mit dem Ziel einer verminderten Strahlenexposition für den Patienten.

Unter dem Aspekt der Dosisreduktion wird der Stellenwert des *CT-Localizers* als Untersuchungsmethode anhand von Sensitivität, Spezifität, positivem und negativem Vorhersagewert ermittelt sowie eine Bewertung der Bildqualität durchgeführt. Weiterhin erfolgt eine Ermittlung der durchschnittlichen effektiven Dosis pro Untersuchung eines Patienten mittels *Low-Dose-CT* inklusive *CT-Localizer* sowie der Strahlenexposition durch einen *CT-Localizer* als einzige diagnostische Modalität.

In Abhängigkeit dieser Ergebnisse erfolgt eine Evaluation der möglichen Einsparung der effektiven Dosis bei Patienten mit Verdacht auf *Body Packing* durch den Verzicht auf die *Low-Dose-CT*-Untersuchung nach eindeutigem Befund des *CT-Localizers*.

3 Material und Methoden

3.1 Patientenkollektiv

Die Studie erfolgte in Kooperation mit dem Zoll des Flughafens Düsseldorf International. Aufgabe der Zollbeamten ist es u. a. illegal eingeführte Waren zu entdecken. In dieser Studie geht es um die Detektion von intrakorporal geschmuggelten Drogen. Sehr häufig werden illegale Substanzen auf diesem Transportweg nach Deutschland eingeführt. Die Kontrolle am Flughafen ist ein wichtiges Instrument, um der Drogenkriminalität entgegen zu wirken.

In Abhängigkeit von der Reiseroute erfolgen besonders gründliche Kontrollen des Flugzeuges, des Gepäcks und der Passagiere. Nachdem die Passagiere das Flugzeug verlassen haben, findet eine erste Kontrolle der Maschine durch die Zollbeamten statt. Hierbei ist insbesondere auf das Auffinden von bereits ausgeschiedenen *Body Packets* zu achten. Zusätzlich erfolgen Kontrollen des Gepäcks mittels speziell auf das Auffinden von Drogen geschulten Drogenspürhunden.

Auf dem Weg zur Passkontrolle müssen alle Fluggäste eine Schleuse passieren, an der eine erste Passagierkontrolle durch die Polizei und Drogenspürhunde erfolgt. Diese Hunde können sehr genau minimale Mengen von bestimmten Substanzen erkennen und dem begleitenden Polizisten eine Auffälligkeit kenntlich machen. Nicht alle an dieser Stelle auffälligen Passagiere sind verdächtige Drogenschmuggler, da auch zufällige Kontaminationen von Kleidung und Handgepäck möglich sind. Jedoch werden bereits erste verdächtige Personen identifiziert und zunächst durch die Zollbeamten weiter beobachtet.

Einen weiteren Kontrollpunkt stellt die Passkontrolle durch die Polizei dar. Hier werden bereits im Vorfeld oder bei früheren Reisen auffällig gewordene Passagiere erkannt und entsprechende Informationen an die Zollbeamten weitergeleitet.

Weiterhin erfolgt zunächst eine Beobachtung bis die verdächtigen Passagiere ihr aufgegebenes Gepäck erhalten haben. Vor Verlassen des Transitbereiches jedoch werden verdächtige Personen gestoppt und zunächst einer Befragung unterzogen. In diesem Rahmen werden unter anderem Fragen nach dem Grund der Reise, dem Ziel, der Aufenthaltsdauer und dem Mitführen von Medikamenten, in erster Linie motilitätshemmenden Medikamenten, gestellt. In der Regel erfolgen anschließend Drogentests in Form von Wischtests zur Untersuchung von Schweiß auf Händen und Stirn sowie Urintests. Sollten diese Tests positiv ausfallen, erfolgt eine körperliche Untersuchung auf illegale Substanzen. Sofern ein unauffälliger Stuhlgang möglich ist, wird der Verdacht auf *Body Packing* fallen gelassen. Sollte dies nicht möglich sein, muss bei hartem Verdacht auf *Body Packing* im Rahmen der strafbehördlichen Abläufe eine CT-

Untersuchung erfolgen. Zu diesem Zweck erfolgt der Transport der verdächtigen Personen in Begleitung von Polizei und Zollbeamten in das Universitätsklinikum Düsseldorf zur weiteren Untersuchung.

3.2 Datenerhebung

Es handelt sich um eine retrospektive Datenauswertung im Routinebetrieb erhobener Untersuchungsdaten. Ein positives Votum durch die Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf lag vor (Studennummer 4150).

Nahezu alle Patienten willigten in die Untersuchung ein. In den wenigen Ausnahmefällen einer fehlenden Einwilligung durch den Patienten, lag eine richterliche Anordnung vor.

Bei allen weiblichen Patienten im gebärfähigen Alter wurde in der Notaufnahme des Universitätsklinikums Düsseldorf ein Schwangerschaftstest durchgeführt. Schwangere Patientinnen sowie Patienten unter 18 Jahren erhielten keine CT-Untersuchung und wurden somit nicht in das Patientenkollektiv aufgenommen.

Der Zeitraum der Datenerfassung erstreckte sich über 18 Monate von März 2012 bis August 2013. In diesem Zeitraum wurden 161 Patienten mit Verdacht auf *Body Packing* im Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie des Universitätsklinikums Düsseldorf untersucht.

155 Patienten wurden an einem 128-Zeilen CT (SOMATOM Definition AS+; Siemens AG, *Healthcare Sector*, Forchheim, Deutschland) untersucht.

6 Patienten wurden aus organisatorischen Gründen (das 128-Zeilen CT war nicht verfügbar) an einem 6-Zeilen CT (SOMATOM Emotion 6, Siemens AG, Erlangen, Deutschland) untersucht. Bei der retrospektiven Datenauswertung konnte bei 5 dieser 6 Patienten nicht der komplette Datensatz der Untersuchung rekonstruiert werden, so dass diese 5 Patienten ausgeschlossen werden mussten.

Insgesamt wurden 156 Patienten in die Studie aufgenommen. Dabei handelte es sich um 36 weibliche und 120 männliche Patienten mit einem Alter von 18 bis 61 Jahren und einem Durchschnittsalter von $35,1 \pm 9,8$ Jahren zum Zeitpunkt der Untersuchung.

Von den 156 Patienten wurden bei 54 Patienten die Diagnose „*Body Packing*“ durch den diensthabenden Radiologen gestellt. Dabei handelte es sich um 14 weibliche und 40 männliche Patienten mit einem Alter von 19 bis 61 Jahren und einem Durchschnittsalter von $34,8 \pm 11,1$ Jahren zum Zeitpunkt der Untersuchung (Tabelle 6).

Tabelle 6: Anzahl und Geschlechterverteilung sowie Durchschnittsalter der Patienten

	Anzahl	Männlich	Weiblich	Altersdurchschnitt
Patienten gesamt	156	120	36	35,1 ± 9,8 Jahre
Patienten positiv	54	40	14	34,8 ± 11,1 Jahre

Patienten gesamt: alle in die Studie einbezogenen Patienten

Patienten positiv: positiv für *Body Packing* diagnostizierte Patienten

In dieser Studie wurden drei verschiedene Formen des *Body Packing* unterschieden, die in Tabelle 7 und Abbildung 1-3 aufgezeigt sind. Es erfolgte eine Unterscheidung zwischen inkorporierten Päckchen mit Kokain in flüssiger und fester Form. Bei den Päckchen mit Kokain in fester Form wurde zwischen der geschluckten und der rektal bzw. vaginal applizierten Form unterschieden. Die Päckchen mit flüssigem Inhalt kamen ausschließlich in der geschluckten Form vor. In wenigen Fällen gab es auch Kombinationen mit sowohl geschluckten als auch rektal bzw. vaginal applizierten Päckchen mit Kokain in fester Form.

Tabelle 7: Einteilung der Formen des *Body Packing* in Abhängigkeit von der Art des Kokains und der Applikationsweise

Art des <i>Body Packing</i>	Definition
Typ I	Kokain flüssig, geschluckt
Typ II	Kokain fest, geschluckt
Typ III	Kokain fest, rektal/vaginal appliziert



Abb. 1: Typ I Päckchen

Kokain in flüssiger Form, verpackt in Kondomen

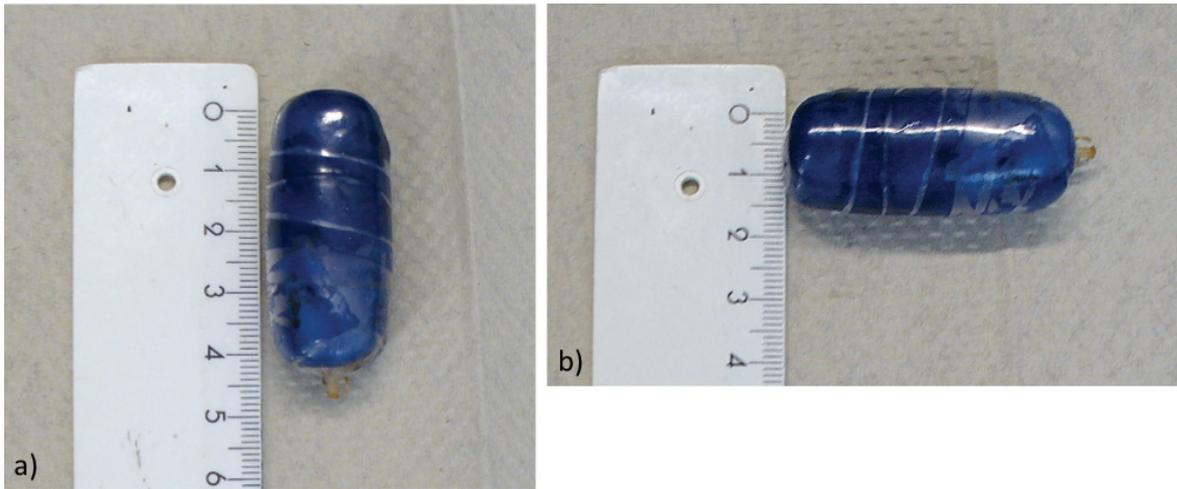


Abb. 2: Typ II Päckchen

Kokain in fester Form, mehrfach ummantelt. Diese Größe ist geeignet zum Schlucken.



Abb. 3: Typ III Päckchen (groß) und Typ II Päckchen (klein)

Kokain in fester Form, mehrfach ummantelt. Die großen Päckchen sind zur rektalen oder vaginalen Applikation geeignet, die kleinen Päckchen eignen sich zum Schlucken.

Die Befundung der angefertigten CT-Untersuchung erfolgte unmittelbar durch den anwesenden diensthabenden Radiologen.

Bei Nachweis von inkorporierten Drogenpäckchen und somit einem für *Body Packing* positivem Befund, fand die sofortige Festnahme des Patienten durch die Zollbeamten/Polizei statt. Im Anschluss erfolgte eine weitere Überwachung der *Body Packer* durch den Zoll mit regelmäßigen Stuhluntersuchungen mittels einer speziellen Toiletteneinrichtung, die die Drogenpäckchen abfängt und von Stuhl eliminiert. Bei negativem Befund erfolgte keine weitere Überwachung des Patienten. Somit war in

diesen Fällen eine weitere Stuhluntersuchung zur Bestätigung des negativen CT-Befundes nicht möglich.

3.3 Untersuchung der Patienten

Die in dieser Studie durchgeführten Untersuchungen der Patienten erfolgten mittels einer nativen *Low-Dose-Abdomen-CT*-Untersuchung inklusive *CT-Localizer*. Das verwendete *Low-Dose-Protokoll* wird in dem Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie standardmäßig zur Diagnostik einer Nephrolithiasis verwendet. Die gesamte CT-Untersuchung des Abdomens diente in dieser Studie als Referenzstandard.

Die Patienten wurden aufgefordert, alle röntgendichten Fremdmaterialien aus dem zu untersuchenden Bereich zu entfernen. Dazu gehörten lange Ketten, Gürtel und der Inhalt der Hosentaschen wie z. B. Schlüssel, Portemonnaie und Mobiltelefon. Bei Vorhandensein von metallischen Knöpfen und Reißverschlüssen am Hosenbund mussten diese ebenfalls aus dem zu untersuchenden Bereich entfernt werden, indem die Hose etwa bis auf Kniehöhe nach unten geschoben wurde. In einigen Fällen waren im zunächst angefertigten *CT-Localizer* noch extrakorporale Fremdkörper nachweisbar. Diese wurden vor Anfertigung der *Low-Dose-CT*-Untersuchung entfernt. Der *CT-Localizer* wurde jedoch nicht wiederholt.

Der *CT-Scan* erfolgte vom Zwerchfell bis zum Anus in craniocaudaler Richtung.

Die CT-Untersuchungen erfolgten an einem 128-Zeilen CT (SOMATOM Definition AS+; Siemens AG, *Healthcare Sector*, Forchheim, Deutschland) und einem 6-Zeilen CT (SOMATOM Emotion 6, Siemens AG, Erlangen, Deutschland). Tabelle 8 gibt die Parameter der Untersuchung für den *CT-Localizer* und die *Low-Dose-Abdomen-CT* wieder.

Tabelle 8: Untersuchungsparameter des *CT-Localizers* und der *Low-Dose-Abdomen-CT*;

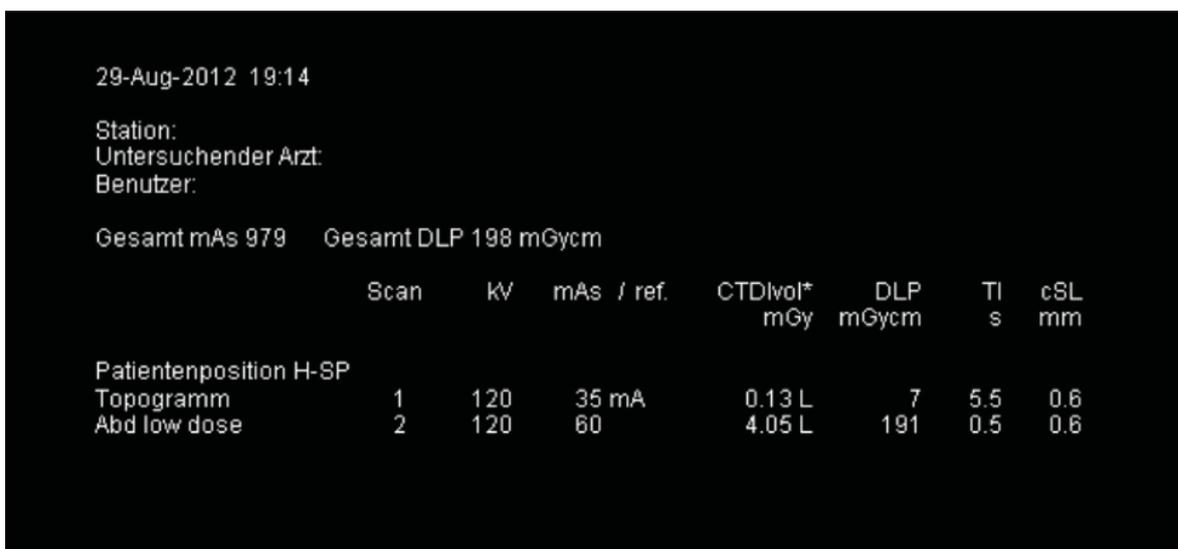
Parameter	<i>CT-Localizer</i>	<i>Low-Dose-Abdomen-CT</i>
Röhrenspannung	120 kV	100-120 kV
Röhrenstrom-Zeit-Produkt	35 bzw. 36 mAs	30-60 mAs*
Schichtdicke	0,6 mm	128 x 0,6 mm
Messzeit	6 Sekunden	abhängig vom FOV
Gantry Rotationszeit	-	0,5 s
Pitch	-	0,6

kV: Kilovolt, mAs: Milliamperesekunde, mm: Millimeter, FOV: Field of View

* 4 Ausnahmen mit 120 mAs, 156 mAs, 118 mAs, 152 mAs

Die Rohdaten wurden in transversale Bilder mit einer Schichtdicke von 1 mm und 5 mm umgewandelt. Es wurde ein Weichgewebs-Kernel von H30f verwendet. Ergänzende sagittale und coronare multiplanare Rekonstruktionen (MPR) mit einer Schichtdicke von 5 mm wurden erstellt. Zur weiteren Bearbeitung wurden die Bilddaten an ein *picture archiving and communication system* (PACS/Sectra Medical Systems GmbH, Linköping, Schweden) übermittelt.

Zusätzlich zu den generierten Bildern der CT-Untersuchung und des CT-Localizers wurde ein DICOM-Bild (DICOM: *Digital Imaging and Communications in Medicine*) generiert, das die relevanten Untersuchungsparameter Röhrenspannung (kV), Röhrenstrom-Zeit-Produkt (mAs), CTDI_{vol} (volumenbezogener CT-Dosisindex), DLP (Dosislängenprodukt), TI (Rotationszeit) und cSL (Kollimation) für den CT-Localizer und die Low-Dose-CT-Untersuchung enthielt. In Abbildung 4 ist exemplarisch ein DICOM-Bild dargestellt, wie es im Rahmen einer jeden CT-Untersuchung generiert wurde.



29-Aug-2012 19:14

Station:
Untersuchender Arzt:
Benutzer:

Gesamt mAs 979 Gesamt DLP 198 mGycm

	Scan	kV	mAs / ref.	CTDI _{vol} * mGy	DLP mGycm	TI s	cSL mm
Patientenposition H-SP							
Topogramm	1	120	35 mA	0.13 L	7	5.5	0.6
Abd low dose	2	120	60	4.05 L	191	0.5	0.6

Abb. 4: DICOM-Bild einer CT-Untersuchung

Ein DICOM-Bild wird bei jeder CT-Untersuchung generiert und gibt Aufschluss über die Scanparameter sowie die Strahlenexposition der Untersuchung.

mAs: Milliamperesekunde, DLP: Dosis-Längen-Produkt in mGy*cm, kV: Kilovolt, ref.: *reference*, CTDI_{vol}: volumenbezogener CT-Dosisindex in mGy, TI: Rotationszeit in s, cSL: Kollimation in mm, mGy: Milligray, cm: Zentimeter, s: Sekunde, mm: Millimeter

3.4 Bildanalyse

Die Auswertung der CT-Localizer erfolgte durch zwei Radiologen mit 3 und 7 Jahren Berufserfahrung im Konsens an einer *PACS Workstation* (PACS/Sectra Medical Systems GmbH, Linköping, Schweden). Die Radiologen kannten die Befunde der Abdomen-CTs und die Patientendaten nicht und waren somit verblindet. Die Zoomfunktion sowie die

Fenstereinstellungen konnten durch die Radiologen frei gewählt werden. Das Ziel war der Nachweis von Fremdkörpern. Ein *CT-Localizer* wurde als positiv für *Body Packing* gewertet bei Nachweis von mindestens einem Fremdkörper in Magen, Dickdarm, Dünndarm, Rektum oder Vagina, der nicht mit Stuhl zu vereinbaren war. Bei fehlendem sicheren Nachweis eines entsprechenden Fremdkörpers, wurde der *CT-Localizer* als negativ gewertet.

Im Anschluss wurden die angefertigten Untersuchungen einer detaillierten Begutachtung durch die Doktorandin unterzogen.

Zunächst erfolgten eine genaue Auswertung der Bewertung der *CT-Localizer* durch die zwei Radiologen und ein Vergleich mit den Ergebnissen der *Low-Dose-Abdomen-CT*, die als Referenzstandard diente. Diese Ergebnisse wurden in eine Vierfeldertafel übertragen, wie in Tabelle 9 zu sehen ist. Somit war eine Unterscheidung zwischen richtig-positiv, falsch-positiv, richtig-negativ und falsch-negativ bewerteten *CT-Localizern* möglich.

Tabelle 9: Vierfeldertafel zur Beurteilung des *CT-Localizers* zum Nachweis von *Body Packing* mit dem Ergebnis der *Low-Dose-CT*-Untersuchung als Referenzstandard

	Negativ im <i>Low-Dose-CT</i>	Positiv im <i>Low-Dose-CT</i>
Negativ im <i>CT-Localizer</i>	richtig-negativ	falsch-negativ
Positiv im <i>CT-Localizer</i>	falsch-positiv	richtig-positiv

Negativ: kein Nachweis von *Body Packing*, Positiv: Nachweis von *Body Packing*

In einem nächsten Schritt erfolgte eine detaillierte Begutachtung der angefertigten *CT*-Untersuchungen der *Body Packer*.

Die Anzahl der inkorporierten Päckchen wurde in der *Low-Dose-CT*-Untersuchung in den transversalen 1 mm Schichten gezählt, indem der Gastrointestinaltrakt in Richtung der physiologischen Passage der Päckchen verfolgt wurde. Hierbei wurde die Verteilung der Päckchen in Magen, Dünndarm, rechtem bzw. linkem Hemicolon, Rectosigmoid und Vagina unterschieden.

Weiterhin erfolgte eine Ermittlung der Dichtewerte in HE (*Hounsfield*-Einheiten) der Päckchen sowie der Muskulatur und des Umgebungsräuschens in der *Low-Dose-CT* zur Ermittlung der objektiven Bildqualität. Eine dezidierte Beschreibung dieses Vorganges ist in Kapitel 3.5 aufgeführt.

Die Ermittlung der Dichte des Päckcheninhaltes im *CT-Localizer* erfolgte in ähnlicher Weise. Hierzu wurden ROIs (*Region of Interest*) in die als *Body Packets* identifizierten Strukturen des *CT-Localizers* gelegt und die Dichtewerte in HE inklusive der Standardabweichung bestimmt.

Darüber hinaus wurde die subjektive Bildqualität von *CT-Localizer* und *Low-Dose-CT* bestimmt, wie in Kapitel 3.6 dargelegt. Die Bestimmung der Strahlendosis ist in Kapitel 3.7 aufgeführt.

3.5 Objektive Bildqualität

Die objektive Bildqualität wurde in der *Low-Dose-CT* als Referenzstandard mittels *contrast-to-noise-ratio* (CNR) und *signal-to-noise-ratio* (SNR) ermittelt. Um diese Werte zu berechnen, wurden Dichtemessungen in den transversalen 1 mm Schichten der *Low-Dose-Abdomen-CT* durchgeführt. Hierzu wurden ROIs in das Zentrum eines Kokainpäckchens (ROI1), in die Muskulatur (ROI2) (überwiegend *Musculus psoas*, teilweise auch *Musculus gluteus medius* oder *maximus*) und die umgebende extrakorporale Luft (ROI3) gelegt und die Dichte gemessen. Die Standardabweichung der extrakorporalen Luft (ROI3) wurde als Indikator für das Umgebungsrauschen verwendet.

CNR und SNR wurden wie folgt berechnet:

$$\text{CNR} = (\text{Dichte Packet (ROI1)} - \text{Dichte Muskel (ROI2)}) / \text{Umgebungsrauschen (ROI3)}$$

$$\text{SNR} = \text{Dichte Packet (ROI1)} / \text{Umgebungsrauschen (ROI3)} \text{ [86]}$$

3.6 Subjektive Bildqualität

Eine weitere Methode zur Ermittlung der Bildqualität ist die Bewertung der Abgrenzbarkeit bestimmter Strukturen durch den Untersucher. Diese Methode wird als „*visual grading*“ bezeichnet. Voraussetzung für eine hohe Validität dieser Technik sind die Auswahl der anatomischen Strukturen entsprechend ihrer klinischen Relevanz und erfahrene Untersucher. Diese Technik stützt sich auf die Annahme, dass die Reproduzierbarkeit anatomischer Strukturen mit der Möglichkeit Pathologien zu erkennen korreliert [87]. Mit dieser Technik wird jedoch eine subjektive Beurteilung der Bildqualität vorgenommen. Trotzdem ist gerade diese subjektive Begutachtung der Bilder sehr nah an der klinischen Routine, in der der Radiologe entscheiden muss, ob die Bildqualität zur Beantwortung der Fragestellung ausreichend ist [88].

Visual grading kann auf verschiedene Arten erfolgen. Zum einen durch Verwendung bestimmter Kriterien zur Beurteilung der Bildgüte und Überprüfung der Erfüllung dieser durch einen Untersucher. Solche Kriterien sind beispielsweise die *European quality criteria*, die es für konventionelle Röntgenbilder und die Computertomographie gibt. Diese Methode wird als „*image criteria score*“ (ICS) bezeichnet. Zum anderen durch

Bestimmung der für die Fragestellung relevanten anatomischen Strukturen und der Beurteilung dieser durch einen Untersucher auf einer mehrstufigen Bewertungsskala. Diese Methode wird als „*visual grading analysis*“ (VGA) bezeichnet. Diese kann entweder auf relative Weise erfolgen, indem jedes Bild mit einem Referenzbild verglichen wird und der Untersucher bewertet, ob die Details besser oder schlechter abgrenzbar sind als in dem Referenzbild. Daneben kann die Beurteilung auf absolute Weise erfolgen, indem der Untersucher die Beurteilung der Abgrenzbarkeit von Details auf einer Nominalskala bewertet [87].

In dieser Studie wurde die subjektive Bildqualität anhand der absoluten *visual grading analysis* bestimmt. Zur Bewertung der Bildqualität wurde eine 5-Stufen-Skala verwendet, die in Tabelle 10 definiert wird [89,90].

Tabelle 10: 5-Stufen-Skala zur subjektiven Bewertung der Bildqualität der *Low-Dose-CT* und des *CT-Localizers* in Anlehnung an die *European quality criteria*

Skalenwert	Bewertung	
1	Exzellent	Exzellente Abgrenzbarkeit der relevanten Strukturen, keine Artefakte
2	Gut	Gute Abgrenzbarkeit der relevanten Strukturen, diskrete artefaktbedingte Inhomogenitäten
3	Moderat	Ausreichende Abgrenzbarkeit der relevanten Strukturen trotz Bildrauschen und Artefakten
4	Schlecht	Schlechte Abgrenzbarkeit der relevanten Strukturen durch Artefakte und verminderten Kontrast
5	Unakzeptabel	Extrem schlechte Qualität, nicht diagnostizierbar

Die Beurteilung basierte auf der Abgrenzbarkeit von wichtigen Strukturen nach den *European quality criteria*.

Die Bildqualität des *CT-Localizers* wurde in Anlehnung an die „*European Guidelines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images*“ bestimmt.

Die Beurteilung der abdominalen Strukturen bezieht sich hierbei in erster Linie auf eine Untersuchung der ableitenden Harnwege. Aus diesem Grund wurden die Kriterien entsprechend der Fragestellung angepasst. Die in dieser Studie für relevant befundenen anatomischen Strukturen waren das Zwerchfell, der laterale costophrenische Winkel, die Knochen und der Psoas-Schatten [91].

Die Bildqualität der *Low-Dose-Abdomen-CT* wurde in Anlehnung an die „*European Guidelines on Quality Criteria for Computed Tomography*“ bestimmt. Entsprechend der Kriterien für die Beurteilung des gesamten Abdomens (*abdomen, general*) wurde auf eine

scharfe Abgrenzbarkeit von Leber, Milz, Dickdarm, dem retroperitonealen perivaskulären Fettgewebe, Pankreas, Duodenum, Nieren und proximale Ureteren, Aorta abdominalis und Aortenbifurkation und Vena cava inferior geachtet sowie auf eine Abgrenzbarkeit von Lymphknoten < 15 mm, Gefäßästen aus der Aorta abdominalis und zur Vena cava inferior zuführende Venen [92].

Die Bewertung der *Low-Dose-Abdomen-CTs* sowie der *CT-Localizer* anhand der oben beschriebenen Kriterien erfolgte durch zwei Radiologen mit 2 und 3 Jahren Berufserfahrung im Konsens.

Für den Vergleich der subjektiven Bildqualität von *Low-Dose-CT* und *CT-Localizer* wurden jeweils die Mittelwerte und die Standardabweichungen berechnet. Darüber hinaus erfolgte eine Gegenüberstellung der subjektiven Bildqualität von *CT-Localizern* mit richtig-positiver und falsch-negativer Bewertung.

3.7 Strahlendosis

Die Ermittlung der effektiven Dosis (E) des *CT-Localizers* und der *Low-Dose-Abdomen-CT* erfolgte anhand des Dosis-Längen-Produktes (DLP) [85].

Die Umwandlung des DLP in Millisievert erfolgte durch Multiplikation mit einem Konversionsfaktor (k), der für die entsprechende anatomische Region spezifisch ist.

$$E = \text{DLP} \times k$$

Der Konversionsfaktor für das Abdomen beträgt nach der *American Association of Physicists in Medicine* 0,015 mSv/mGy*cm (siehe auch Kapitel 1.8.2) [78,93].

$$E_{(\text{Abdomen})} \text{ (mSv)} = \text{DLP (mGy*cm)} * 0,015 \text{ (mSv/mGy*cm)}$$

Somit ergab die Multiplikation des DLP mit dem Konversionsfaktor die effektive Dosis in Millisievert sowohl für den *CT-Localizer* als auch für die *Low-Dose-Abdomen-CT*.

Zur Berechnung der potentiell möglichen Reduktion der Strahlenexposition wurde die mittlere effektive Dosis des Gesamtkollektives berechnet. Hierbei erfolgte auch eine Unterscheidung der effektiven Dosis zwischen *CT-Localizer* und *Low-Dose-CT*. Darüber hinaus erfolgte eine Bestimmung der effektiven Dosis bei Patienten mit positiv bewertetem *CT-Localizer*, ebenfalls mit Unterscheidung zwischen *CT-Localizer* und *Low-Dose-CT*. Bei dieser Gruppe wäre eine Reduktion der Strahlenexposition durch den Verzicht auf die *Low-Dose-CT* nach Diagnosesicherung anhand des *CT-Localizers* zu erwägen.

3.8 Statistische Datenauswertung

Im Rahmen der statistischen Datenauswertung wurden die Mittelwerte und die Standardabweichung für die Anzahl der inkorporierten Päckchen, die Dichte der Päckchen im *CT-Localizer*, die Strahlendosis und die VGA für die CT-Untersuchungen der *Body Packer* ermittelt.

Die Ergebnisse des *CT-Localizers* wurden mit den Ergebnissen der *Low-Dose-Abdomen-CT* (Referenzstandard) verglichen und Sensitivität und Spezifität sowie der positive und negative Vorhersagewert für den Nachweis von *Body Packets* im *CT-Localizer* ermittelt. Darüber hinaus erfolgte eine Gegenüberstellung der Sensitivität sowie der durchschnittlichen Päckchenanzahl pro Patient im Vergleich der *CT-Localizer* mit richtig-positiver und falsch-negativer Bewertung.

Die Daten wurden mittels der SPSS-Software Version 22 (IBM Corp. Released 2013. IBM SPSS Statistics for Macintosh, Versionen 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.) ausgewertet.

Als Maß für die Übereinstimmung der Bewertung von *Low-Dose-CT* und *CT-Localizer* wurde der Cohens-Kappa-Koeffizient berechnet. Nach Landis und Koch gelten folgende Grenzwerte: $\kappa < 0$ = „schlechte Übereinstimmung“, $\kappa < 0,20$ = „etwas Übereinstimmung“, $\kappa < 0,4$ = „ausreichende Übereinstimmung“, $\kappa < 0,6$ = „moderate Übereinstimmung“, $\kappa < 0,8$ = „beachtliche Übereinstimmung“, $\kappa < 1,0$ = „(fast) vollkommene Übereinstimmung“ [94].

Die Bewertung nicht normalverteilter Daten erfolgte mittels nicht-parametrischer Verfahren. Der Vergleich der VGA von *Low-Dose-CT* und *CT-Localizer* wurde mit dem Wilcoxon-Test durchgeführt. Der Vergleich der VGA von *CT-Localizern* mit richtig-positiver und falsch-negativer Bewertung erfolgte mittels Mann-Whitney-U-Test. Der Vergleich der Strahlenexposition von *Low-Dose-CT* und *CT-Localizern* bei Patienten mit positiv bewertetem *CT-Localizer* erfolgte mittels des Wilcoxon-Tests.

Zur Bestimmung eines Zusammenhangs zwischen der Anzahl der inkorporierten Päckchen pro Patient und der Bewertung des *CT-Localizers* wurde eine punktbiseriale Korrelation durchgeführt.

Die Werte der Dichtemessung der *Body Packets* waren normalverteilt, so dass zur Bestimmung eines Zusammenhangs zwischen der Dichte der Päckchen und der richtig-positiven und falsch-negativen Bewertung der *CT-Localizer* der Student's t-Test durchgeführt wurde.

Ein Zusammenhang der Sensitivität des *CT-Localizers* in Abhängigkeit von der Art des *Body Packing* wurde mittels Chi-Quadrat-Test getestet.

4 Ergebnisse

4.1 Patientenkollektiv

Von den 156 Patienten wurde in 54 Fällen (35 %) *Body Packing* nachgewiesen. Dabei handelte es sich um 14 weibliche und 40 männliche Patienten mit einem Alter von 19 bis 61 Jahren und einem Durchschnittsalter von $35,1 \pm 9,8$ Jahren zum Zeitpunkt der Untersuchung. Bei insgesamt 41 (26 %) Patienten konnten entsprechende Fremdkörper bereits im CT-Localizer detektiert werden. Die entsprechenden Verteilungen sind in Tabelle 11 gegenübergestellt.

Als Maß für die Übereinstimmung zwischen der Bewertung des CT-Localizers und dem Befund der Low-Dose-CT konnte eine signifikante und als sehr gut zu bezeichnende Übereinstimmung ermittelt werden; $\kappa = 0,81$, $p < 0,001$.

In allen Fällen (100 %) handelte es sich um mit Kokain gefüllte Päckchen, entweder in der flüssigen oder in der festen Form.

Tabelle 11: Anzahl und Geschlechterverteilung sowie Durchschnittsalter aller in die Studie einbezogenen Patienten sowie der positiv für *Body Packing* diagnostizierten Patienten und der positiv bewerteten CT-Localizer

	Anzahl	Männlich	Weiblich	Altersdurchschnitt
Patienten gesamt	156	120	36	$35,1 \pm 9,8$ (18-61) Jahre
Positiv im Low-Dose-CT	54	40	14	$34,8 \pm 11,1$ (19-61) Jahre
Positiv im CT-Localizer	41	30	11	$35,9 \pm 11,9$ (19-61) Jahre

Patienten gesamt: alle in die Studie einbezogenen Patienten

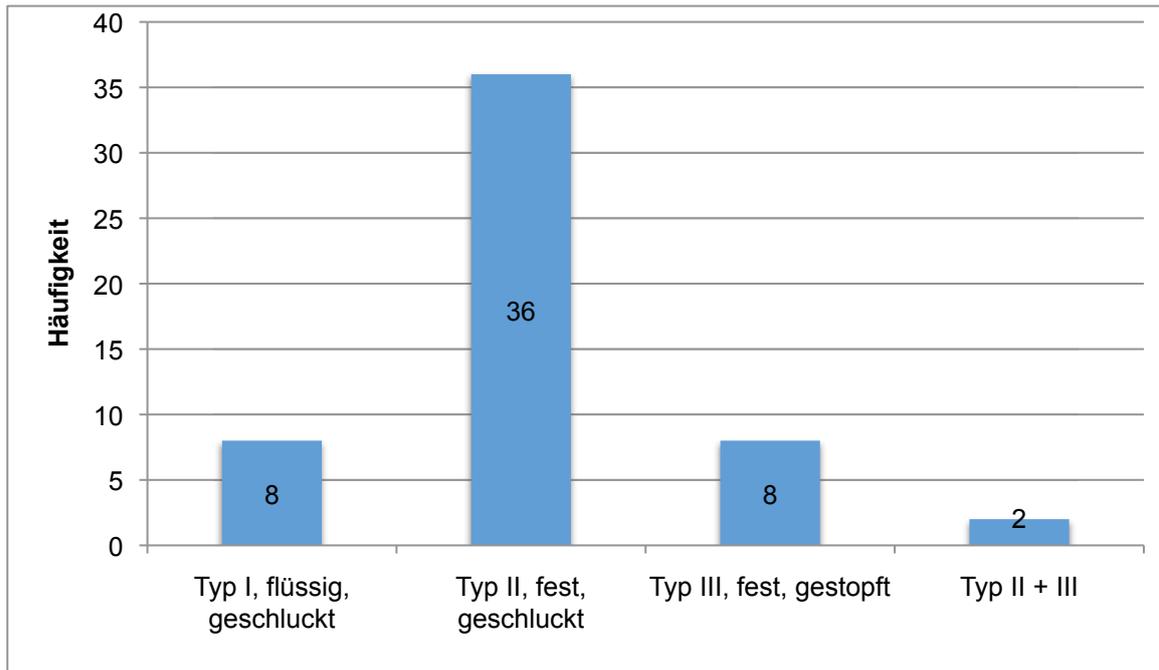
Positiv im Low-Dose-CT: positiv für *Body Packing* diagnostizierte Patienten

Positiv im CT-Localizer: Patienten mit für *Body Packing* positiv bewertetem CT-Localizer

Bei der Unterscheidung der verschiedenen Formen des *Body Packing* konnte in 36 Fällen (67 %) die feste, geschluckte Form nachgewiesen werden (Typ II). In 8 Fällen (15 %) konnte die flüssige, geschluckte Form nachgewiesen werden (Typ I). In 8 Fällen (15 %) konnte die gestopfte Form nachgewiesen werden (4 rektal, 2 vaginal, 2 rektal und vaginal) (Typ III). Bei zwei Patienten (4 %) konnten sowohl geschluckte als auch gestopfte *Packets* nachgewiesen werden (1 rektal gestopft, 1 rektal und vaginal gestopft) (Typ II und III). Tabelle 12 und Abbildung 5 zeigen eine Übersicht über die Häufigkeiten der verschiedenen Arten des *Body Packing*.

Tabelle 12: Übersicht der Häufigkeiten der verschiedenen Arten des *Body Packing*

Art des <i>Body Packing</i>	Definition der Art	Häufigkeit	Häufigkeit in %
Typ I	Flüssig, geschluckt	8	15 %
Typ II	Fest, geschluckt	36	67 %
Typ III	Fest, gestopft	8	15 %
Typ II + III	Fest	2	4 %

Abb 5.: Übersicht der Häufigkeiten der verschiedenen Arten des *Body Packing*

Die Anzahl der in der *Low-Dose-Adomen-CT* intrakorporal nachgewiesenen Päckchen pro Patient wird in Tabelle 13 aufgezeigt. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass ein Patient, der Päckchen mit Kokain in flüssiger Form geschluckt hat, diese unmittelbar vor der Untersuchung auf dem CT-Tisch evakuiert hatte. In diesem Fall ist ein Wert von 1 für die Anzahl der Päckchen übernommen worden.

Tabelle 13: Verteilung der Anzahl der intrakorporal transportierten Päckchen pro Patient

Typ	Mittelwert und Standardabweichung	Range
Gesamt	53,6 ± 41,2	1 - 150
Typ I	21,5 ± 16,3	1 - 48
Typ II	73,8 ± 35,1	13 - 150
Typ III	3,9 ± 3,8	1 - 12
Typ II+III	17 ± 9,9	10 - 24

Typ I: flüssig, geschluckt; Typ II: fest, geschluckt; Typ III: fest, gestopft

Im Folgenden sind beispielhaft die Abbildungen 6-9 aufgeführt, die verschiedene Arten des *Body Packing* in der *Low-Dose-CT* und dem *CT-Localizer* zeigen. Zur Veranschaulichung sind Bilder des entsprechenden Päckchen-Types und das Ergebnis der *CT-Localizer*-Bewertung ergänzt. Die Abbildungen sind Beispiele für richtig-positiv und falsch-negativ diagnostizierte *CT-Localizer*.

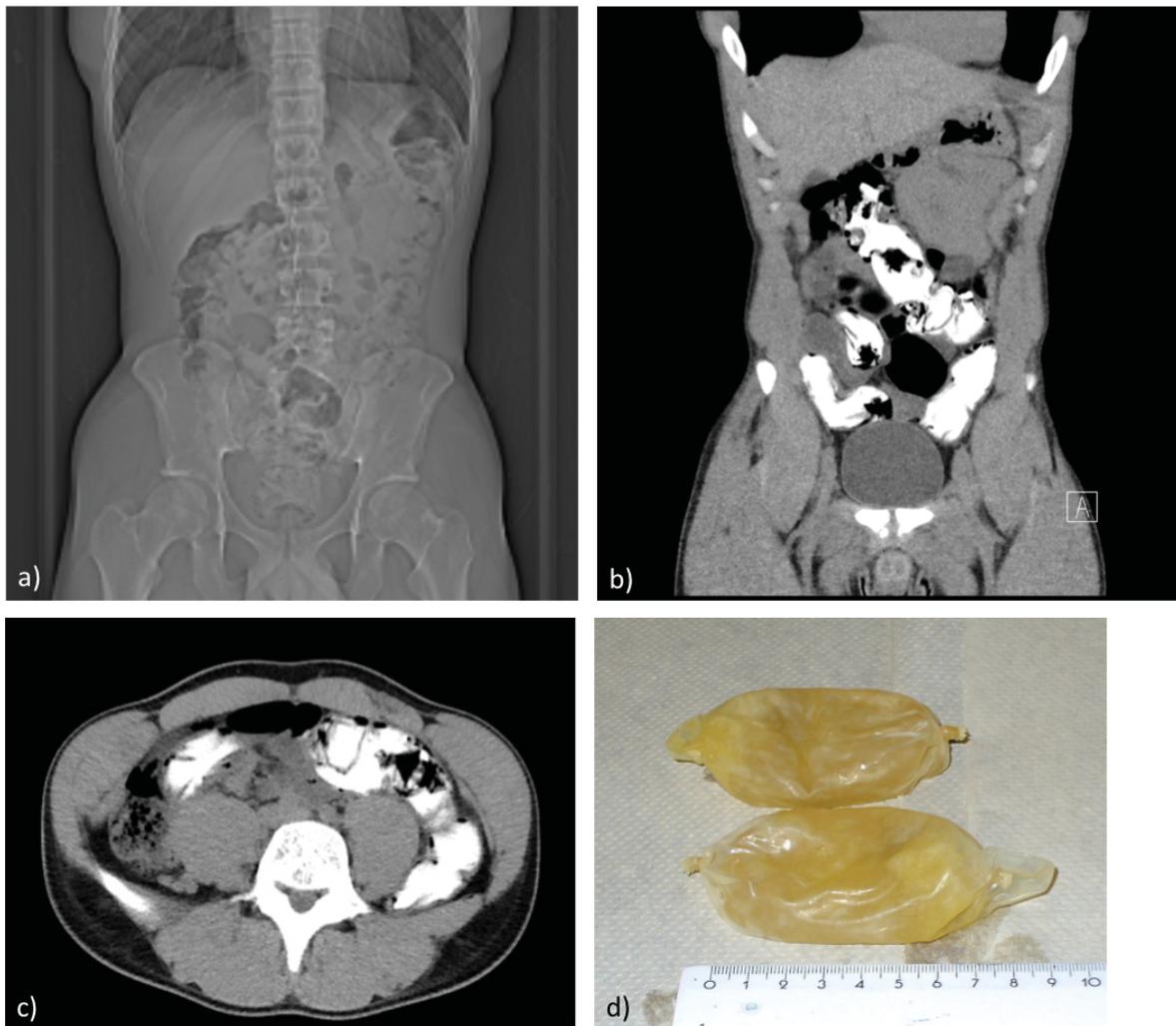


Abb. 6: Body Packing Typ I, multiple geschluckte Päckchen, gefüllt mit Kokain (flüssig)
22-jähriger männlicher Patient, der CT-Localizer wurde negativ bewertet
a) CT-Localizer, b) coronare Schicht der Low-Dose-CT, c) axiale Schicht der Low-Dose-CT,
d) Päckchen vom Typ I

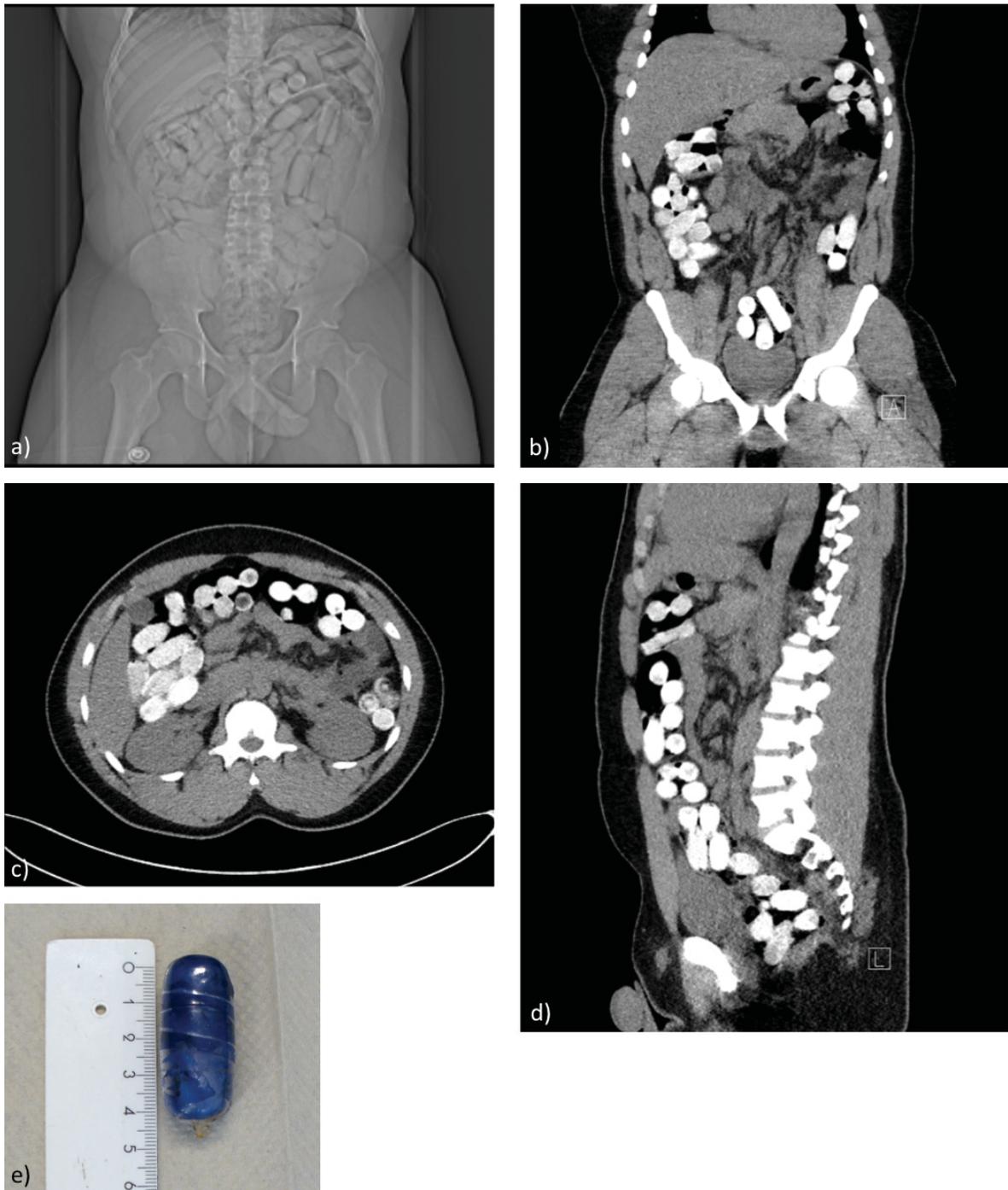


Abb. 7: Body Packing Typ II, multiple geschluckte Päckchen, gefüllt mit Kokain (fest)

20-jähriger männlicher Patient, der *CT-Localizer* wurde positiv bewertet

a) *CT-Localizer*, b) coronare Schicht der *Low-Dose-CT*, c) axiale Schicht der *Low-Dose-CT*, d) sagittale Schicht der *Low-Dose-CT*, e) Päckchen vom Typ II

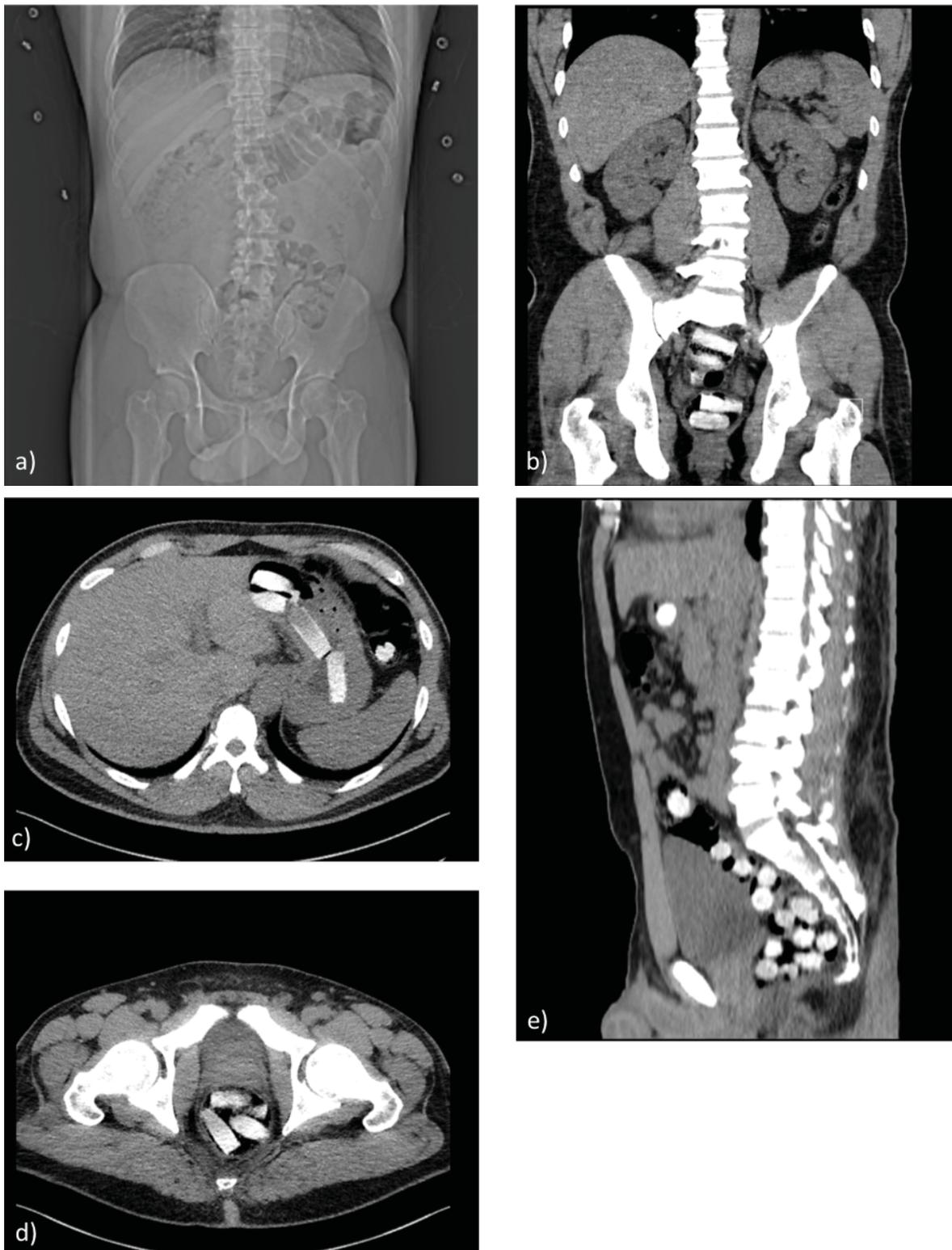


Abb. 8: Body Packing Typ II, multiple geschluckte Päckchen, gefüllt mit Kokain (fest)
41-jähriger männlicher Patient, der CT-Localizer wurde negativ bewertet
a) CT-Localizer, b) coronare Schicht der *Low-Dose-CT*, c) axiale Schicht der *Low-Dose-CT*,
d) axiale Schicht der *Low-Dose-CT*, e) sagittale Schicht der *Low-Dose-CT*



Abb. 9: Body Packing Typ III, mehrere gestopfte Päckchen, gefüllt mit Kokain (fest)

61-jähriger männlicher Patient, der CT-Localizer wurde positiv bewertet

a) CT-Localizer, b) coronare Schicht der *Low-Dose-CT*, c) axiale Schicht der *Low-Dose-CT*,
d) Päckchen vom Typ III, e) sagittale Schicht der *Low-Dose-CT*

Im Folgenden sind in den Abbildungen 10 und 11 beispielhaft 3D-Rekonstruktionen eines *Body Packers* Typ I sowie eines *Body Packers* Typ II aufgeführt.



Abb. 10: 3D-Rekonstruktion eines Patienten mit *Body Packing* Typ I, mehrere geschluckte Päckchen, gefüllt mit Kokain (flüssig)

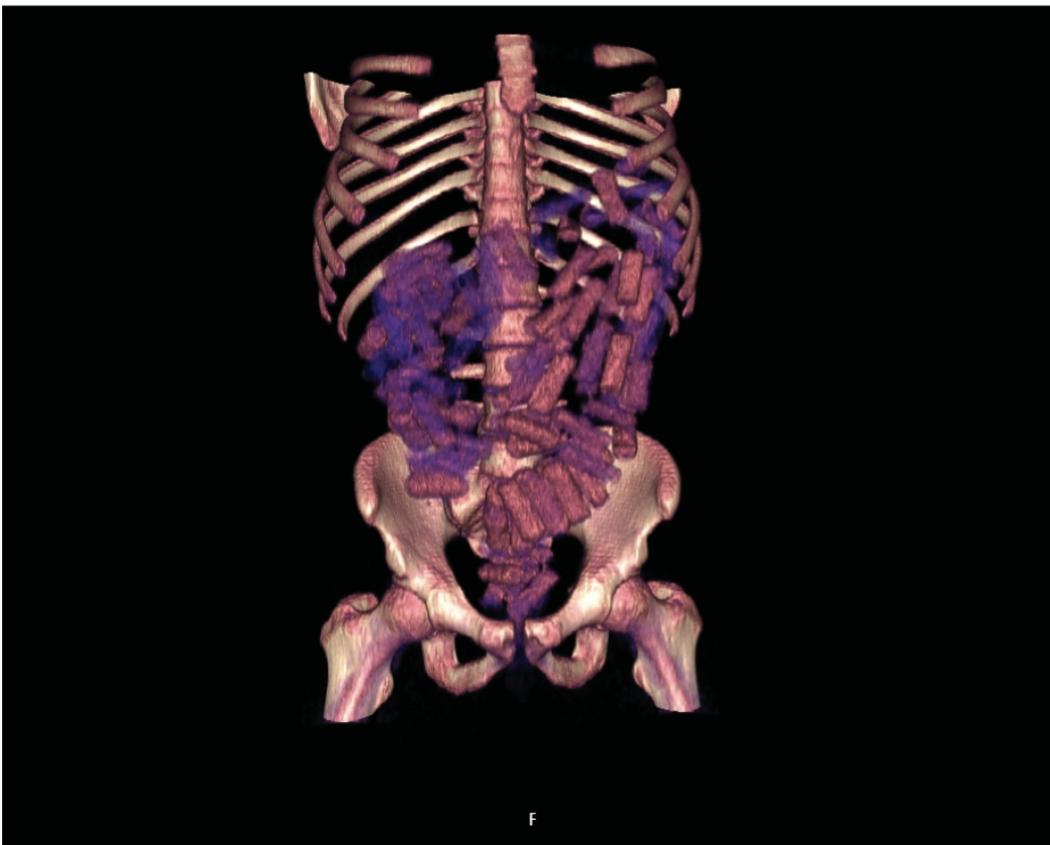


Abb. 11: 3D-Rekonstruktion eines Patienten mit *Body Packing* Typ II, mehrere geschluckte Päckchen, gefüllt mit Kokain (fest)

4.2 Vergleich des CT-Localizers mit der Low-Dose-Abdomen-CT

Im Vergleich mit der *Low-Dose-Abdomen-CT* konnte anhand des *CT-Localizers* bei den 156 Patienten mit Verdacht auf *Body Packing* in 41 Fällen (26 %) ein richtig-positives Ergebnis nachgewiesen werden, in 13 Fällen (8 %) kam es zu einem falsch-negativen Ergebnis. Es gab keine falsch-positiven Ergebnisse. In 102 Fällen (65 %) konnte ein richtig-negatives Ergebnis nachgewiesen werden (Tabelle 14).

Tabelle 14: Beurteilung des CT-Localizers zum Nachweis von *Body Packing*

	Negativ im <i>Low-Dose-CT</i>	Positiv im <i>Low-Dose-CT</i>
Negativ im <i>CT-Localizer</i>	102	13
Positiv im <i>CT-Localizer</i>	0	41

Negativ: kein Nachweis von *Body Packing*, Positiv: Nachweis von *Body Packing*

Das Ergebnis der *Low-Dose-CT*-Untersuchung diene als Referenzstandard

Die Detektionsrate von *Body Packets* im *CT-Localizer* lag mit 41 von 54 Fällen bei 76 %. Von den 36 Patienten, die Päckchen mit Kokain in fester Form geschluckt haben, konnten 33 (92 %) im *CT-Localizer* detektiert werden. Von den 8 Patienten, die Päckchen mit Kokain in flüssiger Form geschluckt haben, konnten 2 (25 %) im *CT-Localizer* detektiert werden. Von den 8 Patienten, die *Body Packets* rektal oder vaginal gestopft haben, konnten 5 (63 %) im *CT-Localizer* detektiert werden. Von den zwei Patienten, die Päckchen sowohl geschluckt als auch gestopft haben, konnte einer (50 %) im *CT-Localizer* detektiert werden. Eine Übersicht über die Verteilung der Detektionsraten zeigen Tabelle 15 und Abbildung 12.

Tabelle 15: Detektionsraten von *Body Packets* im CT-Localizer in Abhängigkeit vom Typ des *Body Packing*

Art des <i>Body Packing</i>	Häufigkeit	Positiver Nachweis im <i>CT-Localizer</i>	Anteil in %
Gesamt	54	41	76 %
Typ I	8	2	25 %
Typ II	36	33	92 %
Typ III	8	5	63 %
Typ II + III	2	1	50 %

Typ I: flüssig, geschluckt; Typ II: fest, geschluckt; Typ III: fest, gestopft

Das Ergebnis der *Low-Dose-CT*-Untersuchung diene als Referenzstandard

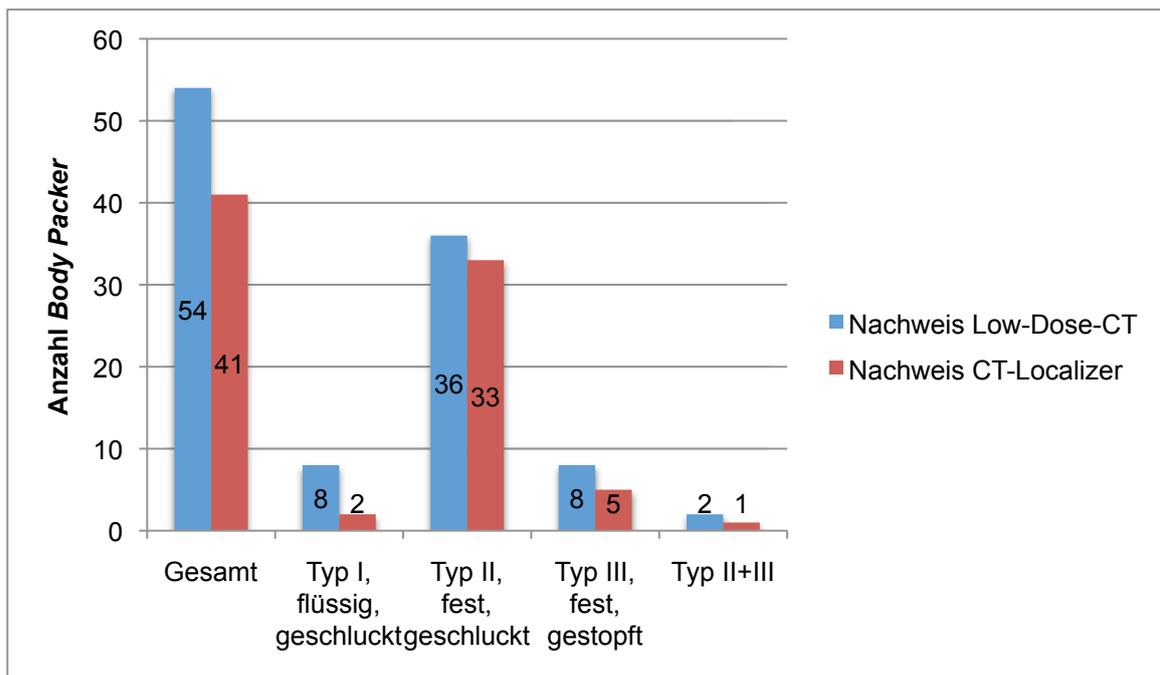


Abb. 12: Detektionsraten von *Body Packets* im CT-Localizer im Vergleich mit dem Low-Dose-CT als Referenzstandard in Abhängigkeit vom Typ des *Body Packing*

Damit lag die Sensitivität des CT-Localizers bei 0,76 und die Spezifität des CT-Localizers bei 1,0. Der positive Vorhersagewert (PPV) betrug 1,0 und der negative Vorhersagewert (NPV) betrug 0,89 (Tabelle 16).

Tabelle 16: Sensitivität, Spezifität, positiver und negativer Vorhersagewert des CT-Localizers zum Nachweis von *Body Packets* mit der Low-Dose-CT-Untersuchung als Referenzstandard

Test	Wert
Sensitivität	0,76 (41/54)
Spezifität	1,0 (102/102)
Positiver Vorhersagewert	1,0 (41/41)
Negativer Vorhersagewert	0,89 (102/115)

4.3 Sensitivität des CT-Localizers in Abhängigkeit von der Art des *Body Packing*

Die Sensitivität des CT-Localizers für den Nachweis von *Body Packing* ergab einen Wert von 0,76. Es konnten jedoch deutliche Unterschiede bei der Detektionsrate in Abhängigkeit von der Art des *Body Packing* nachgewiesen werden.

Eine Bestimmung der Sensitivität des CT-Localizers unterteilt nach der Art des *Body Packing* ergab eine Sensitivität von 0,25 für Typ I (flüssig, geschluckt), eine Sensitivität

von 0,92 für Typ II (fest, geschluckt), eine Sensitivität von 0,63 für Typ III (fest, gestopft) und eine Sensitivität von 0,5 für die Kombination von Typ II + III (Tabelle 17).

Tabelle 17: Sensitivität des CT-Localizers in Abhängigkeit von der Art des *Body Packing*

Art des <i>Body Packing</i>	CT-Localizer richtig- positiv	CT-Localizer richtig- negativ	CT-Localizer falsch- positiv	CT-Localizer falsch- negativ	Sensitivi- tät
Typ I	2/8	-	0	6	0,25
Typ II	33/36	-	0	3	0,92
Typ III	5/8	-	0	3	0,63
Typ II + III	1/2	-	0	1	0,5
gesamt	41/54	102/102	0	13	0,76

Typ I: flüssig, geschluckt; Typ II: fest, geschluckt; Typ III: fest, gestopft

Der paarweise Vergleich der jeweiligen Sensitivität des CT-Localizers in Abhängigkeit von der Art des *Body Packing* ergab einen signifikanten Unterschied im Vergleich von Typ I und Typ II; $X^2(3) = 17,76$, $p < 0,001$. Ein Vergleich der anderen Arten untereinander ergab keinen signifikanten Unterschied, überwiegend aufgrund der geringen Stichprobe.

4.4 Bewertung des CT-Localizers in Abhängigkeit von der Päckchenanzahl

Eine detaillierte Auswertung der Bewertung und Aussagekraft des CT-Localizers in Abhängigkeit von der Anzahl inkorporierter Päckchen ist in Tabelle 18 gegenübergestellt.

Bei Typ I *Body Packing* betrug die durchschnittliche Päckchenanzahl der falsch-negativ bewerteten CT-Localizer $19,17 \pm 16,94$, die der richtig-positiv bewerteten CT-Localizer $28,50 \pm 4,95$.

Bei Typ II *Body Packing* betrug die durchschnittliche Päckchenanzahl der falsch-negativ bewerteten CT-Localizer $57,00 \pm 33,01$, die der richtig-positiv bewerteten CT-Localizer $75,30 \pm 35,32$.

Bei Typ III *Body Packing* betrug die durchschnittliche Päckchenanzahl der falsch-negativ bewerteten CT-Localizer $3,00 \pm 2,65$, die der richtig-positiv bewerteten CT-Localizer $4,40 \pm 4,51$.

Bei Typ II + III *Body Packing* betrug die durchschnittliche Päckchenanzahl der falsch-negativ bewerteten CT-Localizer 10, die der richtig-positiv bewerteten CT-Localizer 24.

Insgesamt betrug die durchschnittliche Päckchenanzahl der falsch-negativ bewerteten CT-Localizer $23,46 \pm 26,70$, die der richtig-positiv bewerteten CT-Localizer $63,12 \pm 40,65$.

Die durchschnittliche Päckchenanzahl der falsch-negativ bewerteten CT-Localizer betrug somit 67 % bei Typ I, 76 % bei Typ II, 68 % bei Typ III, 42 % bei Typ II + III und insgesamt

37 % der Päckchenanzahl der richtig-positiv bewerteten CT-Localizer.

Tabelle 18: Korrelation der Anzahl der inkorporierten Päckchen mit dem Ergebnis des CT-Localizers

Art des Body Packing	CT-Localizer richtig-positiv	CT-Localizer falsch-negativ	Sensitivität	Anzahl der Päckchen richtig-positiv	Anzahl der Päckchen falsch-negativ
Typ I	2/8	6/8	0,25	28,50 ± 4,95	19,17 ± 16,94
Typ II	33/36	3/36	0,92	75,30 ± 35,32	57,00 ± 33,01
Typ III	5/8	3/8	0,63	4,40 ± 4,51	3,00 ± 2,65
Typ II + III	1/2	1/2	0,5	24	10
gesamt	41/54	13/54	0,76	63,12 ± 40,65	23,46 ± 26,70

Typ I: flüssig, geschluckt; Typ II: fest, geschluckt; Typ III: fest, gestopft

Es konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Anzahl inkorporierter Päckchen und einer positiven Bewertung des CT-Localizers nachgewiesen werden; $r_{pb} = 0,42$, $p = 0,002$.

4.5 Bewertung des CT-Localizers in Abhängigkeit von der Dichte der Päckchen

Eine detaillierte Auswertung der Bewertung des CT-Localizers in Abhängigkeit von der Dichte der inkorporierten Päckchen ist in Tabelle 19 gegenübergestellt.

Die im CT-Localizer gemessene durchschnittliche Dichte der Päckchen ergab im Falle einer richtig-positiven Bewertung einen Wert von $62,61 \pm 17,54$ HE und im Falle einer falsch-negativen Bewertung einen Wert von $61,85 \pm 21,94$ HE.

Es konnte kein signifikanter Unterschied in der Dichte der inkorporierten Päckchen bei einem Vergleich der beiden Gruppen nachgewiesen werden; $t(52) = -0,128$, $p = 0,899$.

Tabelle 19: Vergleich der durchschnittlichen Dichte der Päckchen, gemessen im CT-Localizer, in Abhängigkeit von der Korrektheit der Bewertung bei Body Packern

	Anzahl der Patienten	Durchschnittliche Dichte der Päckchen in HE
Richtig-positiv	41	$62,61 \pm 17,54$ (4,8 - 91)
Falsch-negativ	13	$61,85 \pm 21,94$ (34 - 113)

HE: Hounsfield-Einheiten

4.6 Objektive Bildqualität

Zur Berechnung der objektiven Bildqualität der *Low-Dose-CTs* wurden je Patient die Dichtewerte des Päckchens und der Muskulatur sowie das Umgebungsrauschen – die durchschnittliche Standardabweichung der Dichtemessungen der umgebenden Luft – ermittelt und in die entsprechenden Formeln eingesetzt.

Abbildung 13 zeigt beispielhaft die Bestimmung der ROIs sowie die Ermittlung der Dichtewerte mit Standardabweichung in Päckchen, Muskulatur und umgebender Luft. Tabelle 20 gibt eine Übersicht über die durchschnittlichen ermittelten Werte.

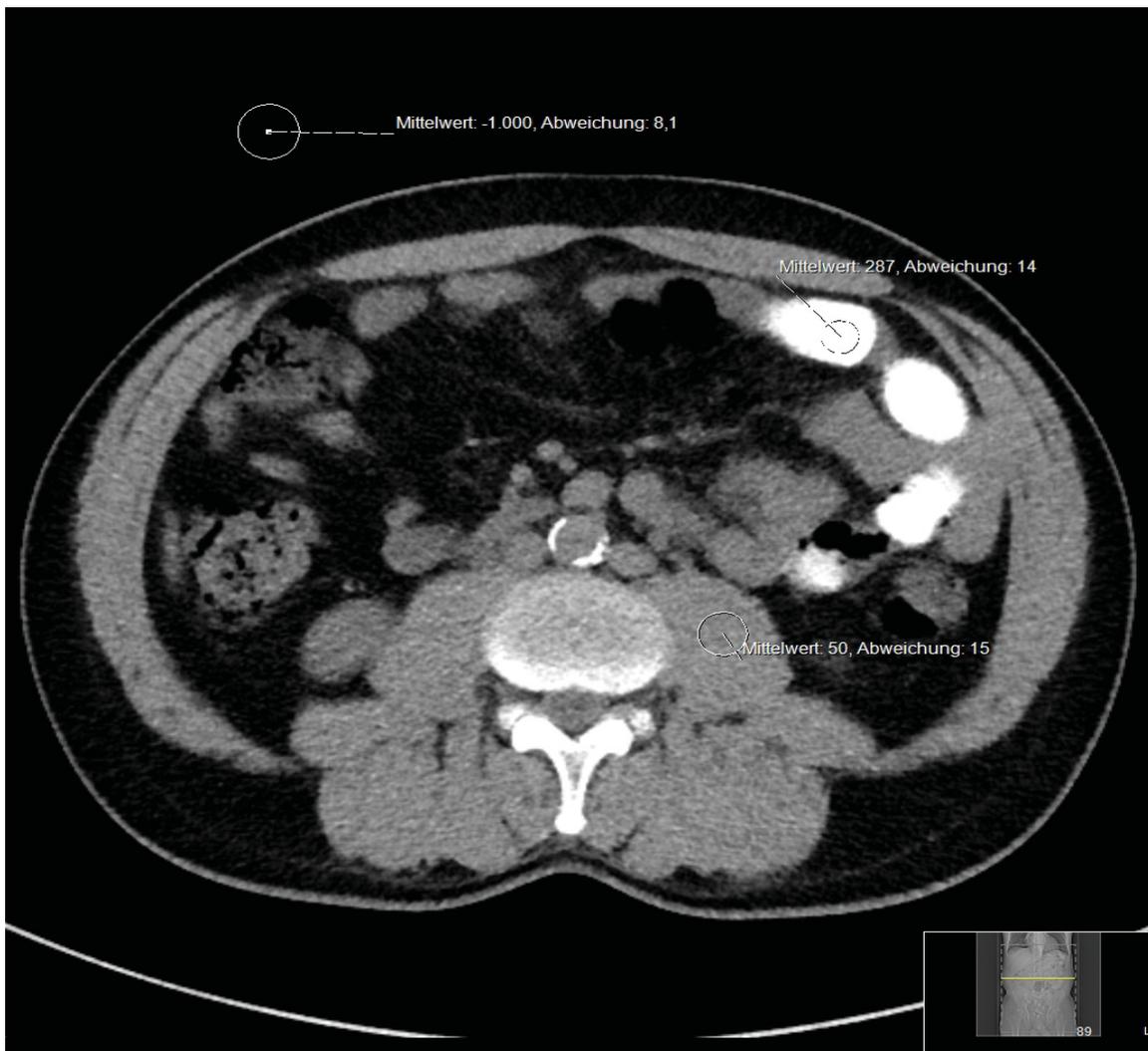


Abb. 13: Bestimmung der ROIs inklusive Dichtewerten und Standardabweichung von Päckchen, Muskulatur und umgebender Luft im Weichteilfenster

Tabelle 20: Durchschnittliche Dichtewerte mit Standardabweichung und Range von Päckchen und Muskulatur sowie Umgebungsrauschen im Low-Dose-Abdomen-CT

Untersuchung	Dichte Päckchen in HE	Dichte Muskulatur in HE	Umgebungsrauschen
Low-Dose- Abdomen-CT	202,44 ± 80,92 (-79 - 355)	47,39 ± 10,81 (-2 - 61)	8,51 ± 3,83 (3,6 - 29)

HE: Hounsfield-Einheiten

Daraus ergeben sich folgende durchschnittliche Werte für die CNR und SNR der Low-Dose-CT, die in Tabelle 21 dargestellt sind.

Tabelle 21: Durchschnittliche CNR und SNR der Low-Dose-Abdomen-CT

	Mittelwert und Standardabweichung	Range
CNR	20,29 ± 11,67	-13,73 - 44,71
SNR	26,74 ± 12,84	-9,52 - 52,21

CNR: contrast-to-noise-ratio; SNR: signal-to-noise-ratio

4.7 Subjektive Bildqualität

Die subjektive Bildqualität wurde überwiegend als exzellent bewertet. Im Durchschnitt ergab die Bewertung des CT-Localizers einen Wert von 1,24 mit einer Standardabweichung von 0,44. Insgesamt erzielten 120 CT-Localizer (77 %) eine Bewertung von „1“ (exzellent), 35 CT-Localizer (22 %) erzielten eine Bewertung von „2“ (gut), 1 CT-Localizer (2 %) erzielte eine Bewertung von „3“ (moderat). Kein CT-Localizer wurde mit „4“ (schlecht) oder „5“ (unakzeptabel) bewertet.

Die Bewertung der Low-Dose-Abdomen-CTs lag im Durchschnitt bei 1,13 mit einer Standardabweichung von 0,34. 135 CT-Untersuchungen (87 %) erzielten eine Bewertung von „1“ (exzellent), 21 CT-Untersuchungen (13 %) erzielten eine Bewertung von „2“ (gut). Keine CT-Untersuchung wurde mit „3“ (moderat), „4“ (schlecht) oder „5“ (unakzeptabel) bewertet. Einschränkungen der Bildqualität kamen überwiegend durch starkes Übergewicht der Patienten, aufliegende Fremdkörper (Ketten und Gürtelschnallen) und Bewegungsartefakte (Atemartefakte) zustande.

Tabelle 22 zeigt die Ergebnisse der VGA nach den oben genannten Kriterien. Abbildung 14 zeigt die durchschnittliche Bewertung der subjektiven Bildqualität der Low-Dose-CT im Vergleich mit dem CT-Localizer. Abbildung 15 zeigt eine Gegenüberstellung der durchschnittlichen subjektiven Bildqualität von CT-Localizern mit einer richtig-positiven und einer falsch-negativen Bewertung.

Tabelle 22: Bestimmung der subjektiven Bildqualität von *Low-Dose-Abdomen-CT* und *CT-Localizer* mittels *Visual Grading Analysis*

Modalität	VGA gesamt	1	2	3	4	5
<i>Low-Dose-Abdomen-CT</i>	1,13 ± 0,34	135	21	0	0	0
<i>CT-Localizer</i> gesamt	1,24 ± 0,44	120	35	1	0	0
<i>CT-Localizer</i> richtig-positiv	1,29 ± 0,46	29	12	0	0	0
<i>CT-Localizer</i> falsch-negativ	1,23 ± 0,44	10	3	0	0	0

1 = exzellent, 2 = gut, 3 = moderat, 4 = schlecht, 5 = unakzeptabel / nicht diagnostizierbar

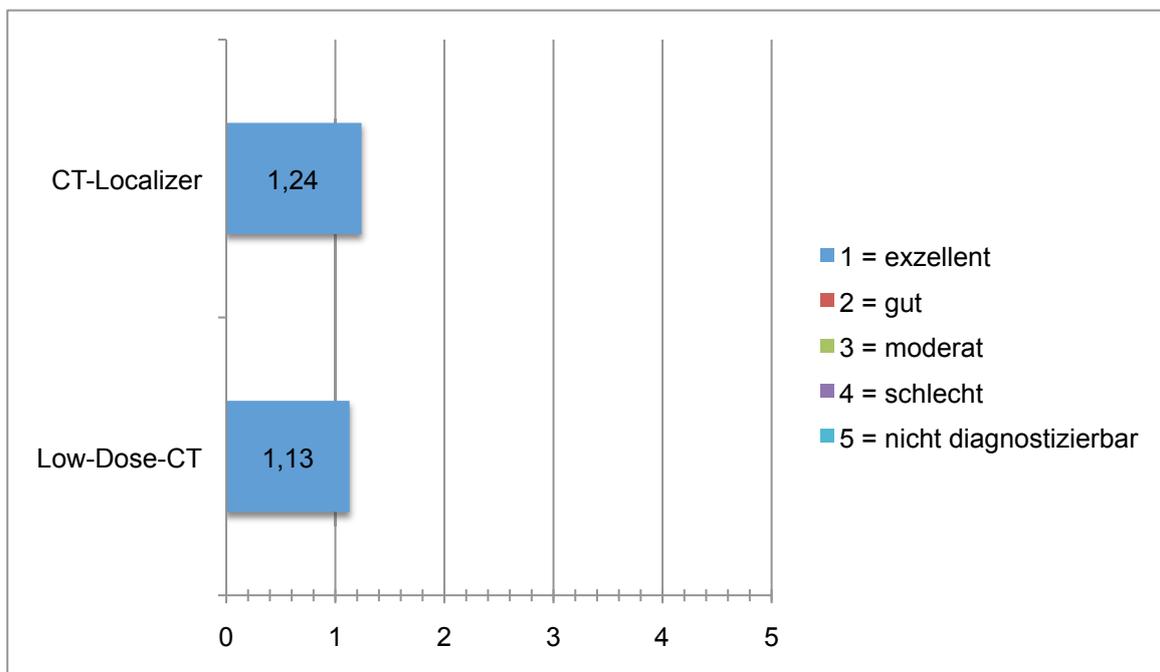


Abb. 14: Durchschnittliche subjektive Bildqualität der *Low-Dose-CT* im Vergleich mit dem *CT-Localizer* auf einer 5-Stufen-Skala

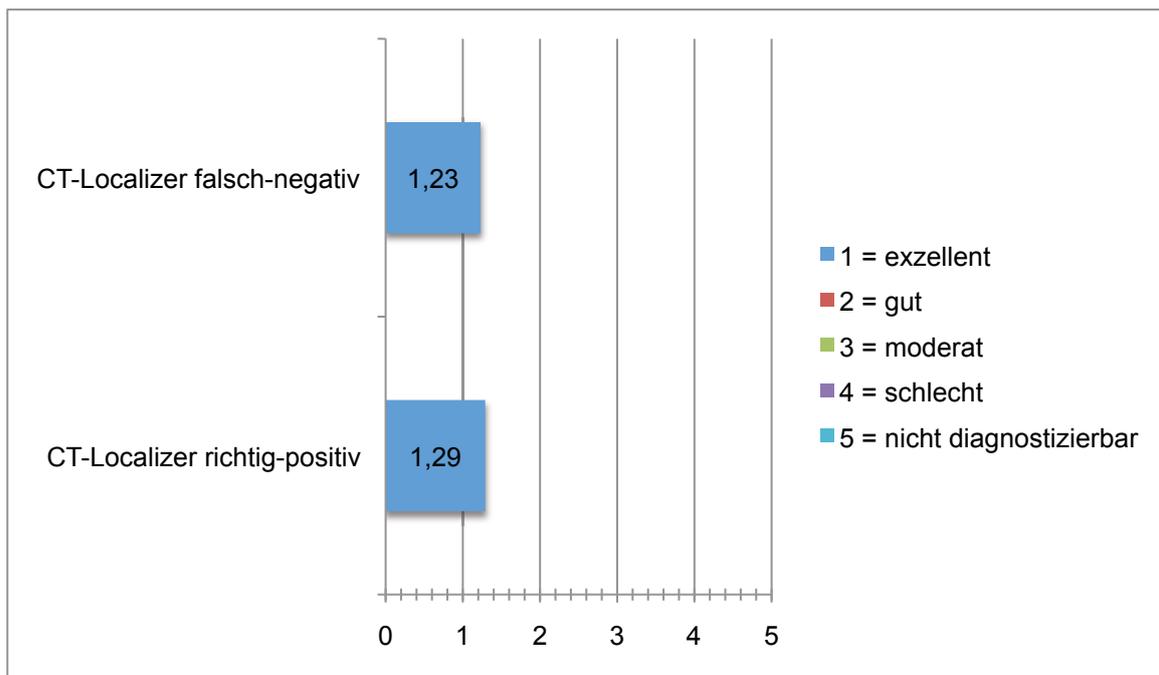


Abb. 15: Gegenüberstellung der durchschnittlichen subjektiven Bildqualität der CT-Localizer mit einer richtig-positiven und einer falsch-negativen Bewertung auf einer 5-Stufen-Skala

Ein Vergleich der Bewertung der VGA der *Low-Dose-CT* und der *CT-Localizer* zeigt, dass die subjektive Bildqualität der *Low-Dose-CT* signifikant besser ist, als die der *CT-Localizer*; $z = -2,469$, $p = 0,014$.

Ein Vergleich der subjektiven Bildqualität von *CT-Localizern* mit richtig-positiver und falsch-negativer Bewertung zeigt hingegen keinen signifikanten Unterschied; $U = 250$, $z = -0,43$, $p = 0,667$.

4.8 Strahlendosis

Die durchschnittliche Strahlendosis der *Low-Dose-Abdomen-CT* betrug $2,01 \pm 0,47$ mSv (1,26 - 4,41). Die durchschnittliche Strahlendosis des *CT-Localizers* betrug $0,11 \pm 0,01$ mSv (0,08 - 0,14). Somit ist die effektive Dosis der *Low-Dose-CT* signifikant höher als die des *CT-Localizers*; $z = -10,835$, $p < 0,001$.

In den 41 Fällen eines positiven *CT-Localizers* betrug die effektive Dosis der *Low-Dose-Abdomen-CT* $1,95 \pm 0,23$ mSv (1,65 - 3,14) und des *CT-Localizers* $0,11 \pm 0,01$ mSv (0,09 - 0,14). Auch hier ist ein signifikanter Unterschied der effektiven Dosis nachweisbar; $z = -5,581$, $p < 0,001$. Die Werte der effektiven Dosis sind in Tabelle 23 aufgezeigt.

Tabelle 23: Durchschnittliche effektive Dosis der *Low-Dose-CT* und des *CT-Localizers* aller Patienten und bei positivem Befund für *Body Packing* im *CT-Localizer*

Untersuchung	Durchschnittliche effektive Dosis	Standardabweichung	Range	% der gesamten effektiven Dosis
<i>Low-Dose-CT</i> inkl. <i>CT-Localizer</i>	2,12 mSv	0,47 mSv	1,35 - 4,52 mSv	100 %
<i>Low-Dose-CT</i> gesamt	2,01 mSv	0,47 mSv	1,26 - 4,41 mSv	94,8 %
<i>CT-Localizer</i> gesamt	0,11 mSv	0,01 mSv	0,08 - 0,14 mSv	5,2 %
<i>Low-Dose-CT</i> inkl. <i>CT-Localizer</i> bei positivem <i>CT-Localizer</i>	2,06 mSv	0,23 mSv	1,77 - 3,24 mSv	100 %
<i>Low-Dose-CT</i> bei positivem <i>CT-Localizer</i>	1,95 mSv	0,23 mSv	1,65 - 3,14 mSv	94,7 %
Positive <i>CT-Localizer</i>	0,11 mSv	0,01 mSv	0,09 - 0,14 mSv	5,3 %

mSv: Millisievert

5 Diskussion

5.1 Die geeignete Methode zur Untersuchung

Bei der bildgebenden Diagnostik von Patienten mit Verdacht auf *Body Packing* ergibt sich eine besondere Herausforderung bei der Wahl der Methode.

Es handelt sich zumeist um sehr junge Patienten, die in der Regel klinisch gesund erscheinen und keine Beschwerden aufweisen. Aufgrund des starken Verdachtes der Inkorporation von mit Drogen gefüllten Päckchen und den daraus resultierenden gesundheitlichen Risiken und rechtlichen Konsequenzen, die ein solches illegales Verhalten mit sich führt, ist eine suffiziente Diagnostik jedoch unerlässlich.

Bei dem größten Teil der zunächst verdächtigten Patienten kann der Verdacht des *Body Packing* nicht bestätigt werden, wie diese Studie belegt. Durch die Untersuchung kommt es jedoch zu einer Strahlenexposition der Patienten, die mit einer gesundheitlichen Schädigung durch ionisierende Strahlung einhergehen kann.

Bei 65 % der Patienten (Altersdurchschnitt $35,3 \pm 9,0$ Jahre) mit Verdacht auf *Body Packing* konnten keine inkorporierten Päckchen in der *Low-Dose-CT*-Untersuchung, die als Referenzstandard diente, nachgewiesen werden. Aus diesem Grund ist bei Patienten mit Verdacht auf *Body Packing* die Indikation zu einer Röntgenuntersuchung kritisch zu sehen.

Tabelle 24 zeigt eine Aufstellung der Gesamtpatienten sowie die Verteilung der Anzahl von *Body Packern* und unauffälligen Patienten.

Tabelle 24: Anzahl und Geschlechterverteilung sowie Durchschnittsalter aller in die Studie einbezogenen Patienten sowie der positiv für *Body Packing* diagnostizierten Patienten und der unauffälligen Patienten

	Anzahl	%	Männlich	Weiblich	Alters- durchschnitt
Patienten gesamt	156	100 %	120	36	$35,1 \pm 9,8$ (18 - 61) Jahre
<i>Body Packer</i>	54	35 %	40	14	$34,8 \pm 11,1$ (19 - 61) Jahre
Unauffällige Patienten	102	65 %	80	22	$35,3 \pm 9,0$ (18 - 60) Jahre

Neben einer ausführlichen klinischen Untersuchung und Anamneseerhebung sowie der Durchführung von Drogentests ist die Bildgebung eine wichtige Säule bei der Diagnostik von Patienten mit Verdacht auf *Body Packing*.

Die bildgebenden Untersuchungsmodalitäten, die nicht mit einer Strahlenexposition für die Patienten verbunden sind, wie die Sonographie und die Magnetresonanztomographie, sind, wie bereits oben ausführlich beschrieben, nicht geeignet, um eine sichere Diagnostik bei Verdacht auf *Body Packing* durchzuführen [65,66]. Etabliert haben sich zum Nachweis inkorporierter *Body Packets* die konventionelle Röntgendiagnostik bzw. die Computertomographie [24,48,67,69,74].

Bei einer Röntgenuntersuchung muss stets darauf geachtet werden, dass der Nutzen der Untersuchung gegenüber dem assoziierten potentiellen Risiko überwiegt. Darüber hinaus ist darauf zu achten, alle Maßnahmen zu ergreifen, um eine Minimierung der Strahlenexposition zu erzielen [78].

In den letzten Jahrzehnten hat die jährliche effektive Dosis pro Kopf durch medizinische Untersuchungen drastisch zugenommen. So lag der Wert beispielsweise in den USA 1982 bei 0,54 mSv und in 2006 bei 3,0 mSv. Hiervon ist etwa die Hälfte der Dosis auf CT-Untersuchungen zurückzuführen, die jedoch lediglich 15 % der Untersuchungen ausmachten [95]. Die Tendenz zu mehr medizinischer Bildgebung und der damit einhergehenden steigenden Strahlenexposition scheint in der westlichen Welt einheitlich zu sein [80]. Aus diesem Grund ist es wichtig, die Prinzipien des Strahlenschutzes anzuwenden. Hierbei steht „*justification*“ für die Verwendung einer Bildgebung mit Strahlenexposition nur, wenn diese die beste Methode ist und das Verhältnis von Nutzen und Risiko stimmig ist. „*Optimization*“ steht für die Reduzierung der Strahlenexposition auf ein Minimum [80].

In der Rechtsprechung wird die mit einer CT-Untersuchung einhergehende Strahlenexposition, als im Einklang mit dem Verhältnismäßigkeitsgrundsatz gesehen. Ein gesundheitlicher Nachteil wird einer CT-Untersuchung nicht zugesprochen [69].

Aus radiologischer Sicht muss jedoch die Wahl der Untersuchungsmodalität unter Berücksichtigung der mit ionisierender Strahlung einhergehenden Risiken getroffen werden. Hierbei muss sowohl auf eine hohe diagnostische Aussagekraft der Methode als auch auf ein möglichst geringes Risiko für den Patienten geachtet werden.

Aufgrund der zunehmend professionelleren Organisation des *Body Packing* mit maschineller Herstellung der Päckchen, haben die gesundheitlichen Risiken, wie das *Body-Packer-Syndrom* durch Päckchenruptur und Ileus, stark abgenommen [22,23]. Daneben ist der Nachweis inkorporierter Päckchen mit bildgebenden Verfahren jedoch auch deutlich erschwert, da einige klassische bildmorphologische Hinweise auf das Vorliegen inkorporierter Päckchen wie das „*double condom sign*“ und das „*rosette sign*“ kaum noch beobachtet werden [15,21].

Die Sensitivität der konventionellen Röntgendiagnostik zum Nachweis inkorporierter *Body*

Packets ist gering und diese Methode ist zum Ausschluss von *Body Packing* nicht geeignet [48]. Insbesondere bei Obstipation [61], einer geringen Anzahl inkorporierter Päckchen [58] und bei Päckchen, die flüssiges Kokain enthalten [62], ist die diagnostische Aussagekraft der konventionellen Röntgenaufnahme deutlich eingeschränkt.

Aufgrund einer hohen Sensitivität und Spezifität sowie eines hohen positiven und negativen Vorhersagewertes zur Detektion von *Body Packets*, ist die native Computertomographie zur Diagnostik des *Body Packing* deutlich besser geeignet [67]. Jedoch ist die Strahlenexposition für die Patienten bei dieser Technik vergleichsweise hoch [58].

Als primäre Diagnostik bei Patienten mit Verdacht auf *Body Packing* hat sich in den letzten Jahren die *Low-Dose-Abdomen-CT-Untersuchung* etabliert. Hierdurch konnte die Strahlenexposition für die Patienten deutlich reduziert werden und die effektive Dosis ist mit der einer konventionellen Röntgenuntersuchung vergleichbar [48,58,69] ohne zu Einbußen bei der Detektion von Päckchen zu führen [48].

Trotzdem muss gemäß dem ALARA-Prinzip weiter an einer Minimierung der Strahlenexposition der Patienten gearbeitet werden.

Mit dem Ziel einer weiteren Reduktion der effektiven Dosis untersucht diese Studie die diagnostische Aussagekraft des *CT-Localizers*. Dieser wird im Rahmen einer jeden CT-Untersuchung zu Planungszwecken standardmäßig angefertigt und hat bisher in der Diagnostik des *Body Packing* keine Bedeutung.

In diesem Zusammenhang gibt es zur Bewertung des *CT-Localizers* im Vergleich mit einer *Low-Dose-CT-Untersuchung* bei der Frage nach *Body Packing* bisher keine Studien. Lediglich eine Studie hat die Sensitivität und Strahlenexposition des *CT-Localizers* im Vergleich mit einer konventionellen Röntgenuntersuchung anhand eines Tiermodells untersucht [75].

5.2 Diagnostische Aussagekraft des *CT-Localizers*

Am Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie des Universitätsklinikums Düsseldorf erfolgt regelmäßig die Untersuchung von Patienten mit Verdacht auf *Body Packing*, die durch den Zoll des Flughafen Düsseldorf International überwiesen werden. Dadurch konnte von den Mitarbeitern eine hohe Expertise in der Beurteilung dieser Untersuchungen erworben werden. Im Rahmen der systematischen Bildbetrachtung dieses speziellen Patientenkollektives konnten inkorporierte Päckchen bereits sehr häufig in dem zur Planung der *Low-Dose-CT-Untersuchung* angefertigten *CT-Localizer* nachgewiesen werden. Zur Evaluation dieser Beobachtung erfolgte im Rahmen einer retrospektiven Datenanalyse die systematische Bewertung der diagnostischen Aussagekraft des *CT-Localizers* zum Nachweis von *Body Packing*.

Wie das konventionelle Röntgenbild stellt auch der *CT-Localizer* ein Projektionsradiogramm dar [79]. Beim Vergleich der diagnostischen Aussagekraft des *CT-Localizers* mit der konventionellen Röntgendiagnostik ist der *CT-Localizer* beispielsweise zum Nachweis von Uretersteinen [76] und einer Beinlängendifferenz nach Hüft-TEP-OP [77] der konventionellen Röntgendiagnostik unterlegen. Bei der Frage nach *Body Packing* konnte eine Studie von Ziegeler et al. im Tiermodell jedoch die Überlegenheit des *CT-Localizers* herausstellen. Es wurde eine deutlich bessere Abgrenzbarkeit der Päckchen sowie eine deutlich höhere Sensitivität bei der Fragestellung nach *Body Packing* im *CT-Localizer* nachgewiesen, als in einer konventionellen Röntgenuntersuchung. Die Sensitivität des *CT-Localizers* wurde mit Werten zwischen 0,44 - 0,56 in einer Ebene und 0,56 - 0,67 in zwei Ebenen, in Abhängigkeit vom Röhrenstrom, angegeben [75].

In dieser Studie konnten diese Ergebnisse deutlich bestätigt werden. Es konnte eine Sensitivität des *CT-Localizers* von 0,76 nachgewiesen werden. Die Strahlenexposition durch den *CT-Localizer* war hierbei sehr gering und die effektive Dosis betrug $0,11 \pm 0,01$ mSv. Somit ergab sich in dieser Studie bei einem Vergleich der Ergebnisse der *CT-Localizer* mit den Ergebnissen konventioneller Röntgenuntersuchungen aus der Literatur bei Patienten mit Verdacht auf *Body Packing* eine vergleichbare Sensitivität des *CT-Localizers* bei deutlich geringerer Strahlenexposition der Patienten (Tabelle 25).

Tabelle 25: Vergleich der diagnostischen Aussagekraft und der effektiven Dosis des CT-Localizers mit den Werten konventioneller Röntgenuntersuchungen aus der Literatur bei Patienten mit Verdacht auf *Body Packing*

Untersuchung	Sensitivität	Spezifität	PPV	NPV	Effektive Dosis
CT-Localizer diese Studie	0,76	1,0	1,0	0,89	0,11 ± 0,01 mSv
Ziegeler [75] Konventionelle Röntgendiagnostik	0,11	-	-	-	2,39 ± 0,29 mSv
Ziegeler [75] CT-Localizer bei 80 mA in a.-p.	0,44	-	-	-	0,36 mSv
Poletti et al. [58] konventionelle Röntgendiagnostik	0,77	0,96	0,80	0,96	2,0 ± 0,7 mSv (F) 1,3 ± 0,4 mSv (M)
Bulakci et al. [67] Konventionell Untersucher 1	0,87	0,73	0,61	0,92	1,36 ± 0,09 mSv
Bulakci et al. [67] Konventionell Untersucher 2	0,81	0,67	0,50	0,89	1,36 ± 0,09 mSv

mSv: Millisievert, F: weiblich, M: männlich, PPV: positiver Vorhersagewert, NPV negativer Vorhersagewert, a.-p.: anterior-posterior

Abbildung 16 zeigt beispielhaft eine konventionelle Röntgenaufnahme eines *Body Packers*, wie sie noch vor wenigen Jahren am Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie des Universitätsklinikums Düsseldorf angefertigt wurde sowie zum Vergleich einen CT-Localizer bei einem *Body Packer*, der im Rahmen dieser Studie bewertet wurde.

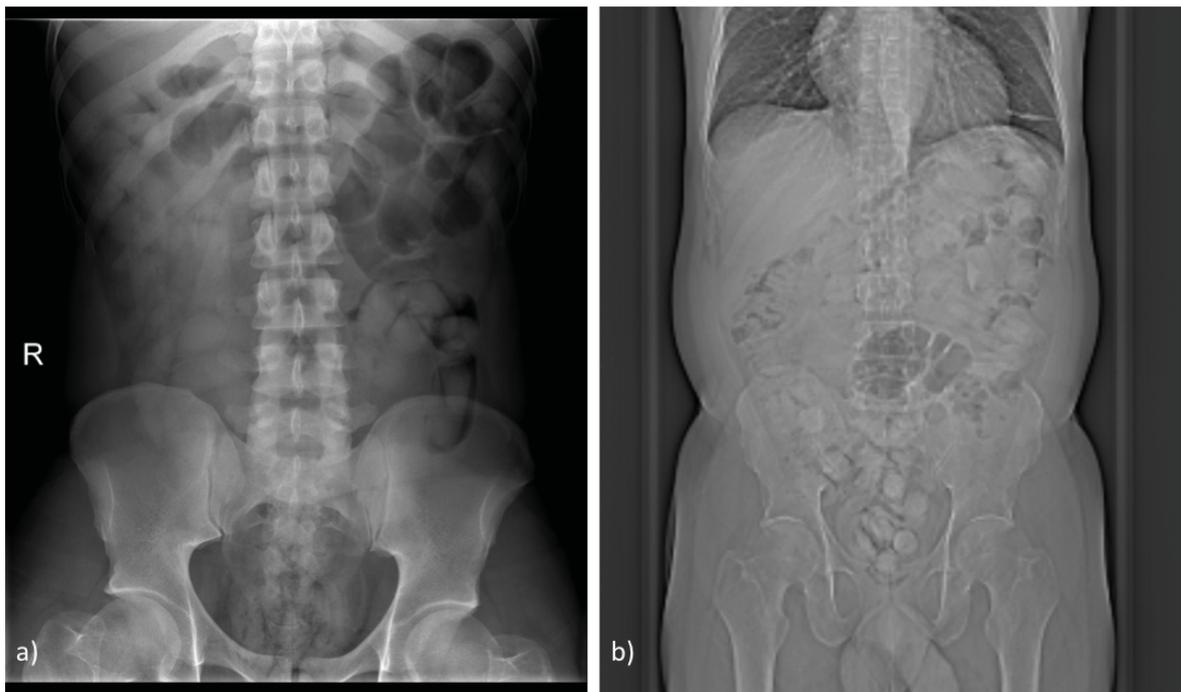


Abb. 16: Gegenüberstellung einer a) konventionellen Röntgenaufnahme und eines b) CT-Localizers bei *Body Packern*

Neben der guten Sensitivität des CT-Localizers liegt ein besonderer Wert dieser Technik in dem hohen PPV (1,0), der besagt, dass bei allen durch den CT-Localizer als *Body Packer* diagnostizierten Patienten eine Bestätigung dieses Befundes in der *Low-Dose-CT* erfolgte. Somit wurde durch den CT-Localizer kein Patient als falsch-positiv diagnostiziert. Aufgrund dieses Ergebnisses ist abzuwägen, im Falle eines positiven CT-Localizers auf die anschließende *Low-Dose-Abdomen-CT* zu verzichten.

Da es in dieser Studie lediglich um den Nachweis bzw. Ausschluss von *Body Packing* ging und die genaue Anzahl und Lokalisation der Päckchen keine Konsequenz für das weitere Vorgehen hatten, konnte im Falle eines positiven CT-Localizers die Fragestellung zuverlässig beantwortet werden. Somit ist es möglich, eine beträchtliche Einsparung der Strahlendosis zu erzielen. Im Fall eines negativen CT-Localizers jedoch ist zum Ausschluss von *Body Packing* eine *Low-Dose-CT*-Untersuchung erforderlich.

5.3 Bildqualität des CT-Localizers

Zur Beurteilung der diagnostischen Qualität des CT-Localizers und der *Low-Dose-CT* wurde eine subjektive Begutachtung der angefertigten Bilder mittels einer „*visual grading analysis*“ durchgeführt. Die Bewertung erfolgte gemäß einer 5-Stufen-Skala durch zwei Radiologen mit 2 und 3 Jahren Berufserfahrung im Konsens. Die Ergebnisse zeigten eine überwiegend exzellente Bildqualität mit einer durchschnittlichen Bewertung der *Low-Dose-Abdomen-CT* mit $1,13 \pm 0,34$ und des CT-Localizers von $1,24 \pm 0,44$. 77 % der CT-

Localizer und 87 % der *Low-Dose-Abdomen-CTs* wiesen eine exzellente Bildqualität auf. Es gab keine Untersuchungen mit einer „schlechten“ oder „unakzeptablen“ Bildqualität. Die Qualität der Bilder, die in dieser Studie angefertigt wurden, ist vergleichbar mit der Bildqualität anderer berichteter *Low-Dose-Protokolle* [96].

Die diagnostische Bildgebung mittels *CT-Localizer* ist zwar ungewöhnlich in der klinischen Praxis, die Ergebnisse zeigen jedoch, dass es sich um eine Modalität mit diagnostischer Qualität handelt.

Trotzdem konnte im Vergleich von *CT-Localizer* und *Low-Dose-CT* ein signifikanter Unterschied in der subjektiven Bildqualität nachgewiesen werden. Bei einem Vergleich der subjektiven Bildqualität von *CT-Localizern* mit richtig-positiver und falsch-negativer Evaluation konnte in Bezug auf die Korrektheit der Diagnose kein signifikanter Unterschied bei der Bewertung der Bildqualität festgestellt werden. Richtig-positiv diagnostizierte *CT-Localizer* erhielten eine durchschnittliche Bewertung von $1,29 \pm 0,46$ und falsch-negativ diagnostizierte *CT-Localizer* erhielten eine durchschnittliche Bewertung von $1,23 \pm 0,44$. Somit wurde in dieser Studie die Sensitivität des *CT-Localizers* nicht durch die Bildqualität beeinflusst.

5.4 Einflussfaktoren auf die Aussagekraft des CT-Localizers

Bei einem *CT-Localizer* handelt es sich um ein Projektionsradiogramm ähnlich einer konventionellen Röntgenuntersuchung [79]. Da bei der Diagnostik von *Body Packing* mittels konventioneller Röntgenuntersuchung in der Literatur Unzulänglichkeiten dieser Technik nachgewiesen wurden, insbesondere bei Nachweis von Päckchen in geringer Anzahl [58] oder bei Päckchen, die Kokain in flüssiger Form enthielten [62], erfolgte auch in dieser Studie eine Evaluation der diagnostischen Aussagekraft des *CT-Localizers* in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren. Es wurden die Sensitivität des *CT-Localizers* in Abhängigkeit von der Art des *Body Packing* sowie ein Zusammenhang der durchschnittlichen Anzahl und Dichte inkorporierter Päckchen mit der Korrektheit der Bewertung des *CT-Localizers* untersucht.

Die Einteilung der verschiedenen Arten des *Body Packing* erfolgte nach drei Typen. Typ I steht für das Schlucken von Päckchen, die Kokain in flüssiger Form enthalten. Typ II steht für das Schlucken von Päckchen, die Kokain in fester Form enthalten. Typ III steht für das rektale oder vaginale Stopfen von Päckchen, die Kokain in fester Form enthalten.

Bei einer durchschnittlichen Sensitivität des *CT-Localizers* von 0,76 gemittelt über alle *Body Packer* ergaben sich deutliche Unterschiede bei der Differenzierung der Sensitivität nach der Art des *Body Packings* (Abbildung 17).

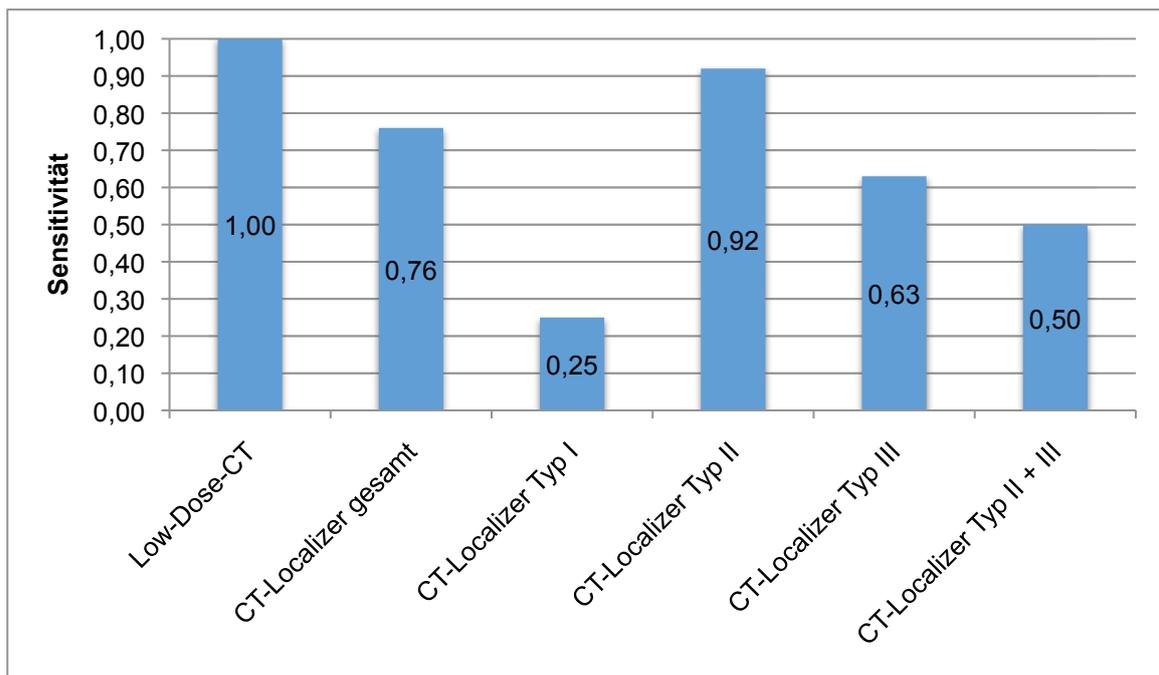


Abb. 17: Sensitivität des CT-Localizers in Abhängigkeit von der Art des *Body Packing*

Typ I: flüssig, geschluckt; Typ II: fest, geschluckt; Typ III: fest, gestopft

Das Ergebnis der *Low-Dose-CT*-Untersuchung diene als Referenzstandard

Es ergibt sich eine sehr gute Nachweisbarkeit von festen, geschluckten Päckchen im CT-*Localizer* mit einer Sensitivität von 0,92. Besonders schlecht abzugrenzen sind Päckchen mit flüssigem Kokain, ähnlich wie bei der konventionellen Röntgendiagnostik [62]. Hier lag die Sensitivität bei 0,25. Bei einem paarweisen Vergleich dieser beiden Gruppen konnte ein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Ein Vergleich der anderen Gruppen untereinander konnte keinen signifikanten Unterschied aufweisen, vor allem aufgrund der geringen Stichprobe.

Zu sehen in Abbildung 18 ist, dass im Falle eines richtig-positiv diagnostizierten CT-*Localizers* die durchschnittliche Anzahl der inkorporierten Päckchen höher ist, als im Falle eines falsch-negativ diagnostizierten CT-*Localizers*. Hier konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Anzahl inkorporierter Päckchen und einer positiven Bewertung des CT-*Localizers* nachgewiesen werden.

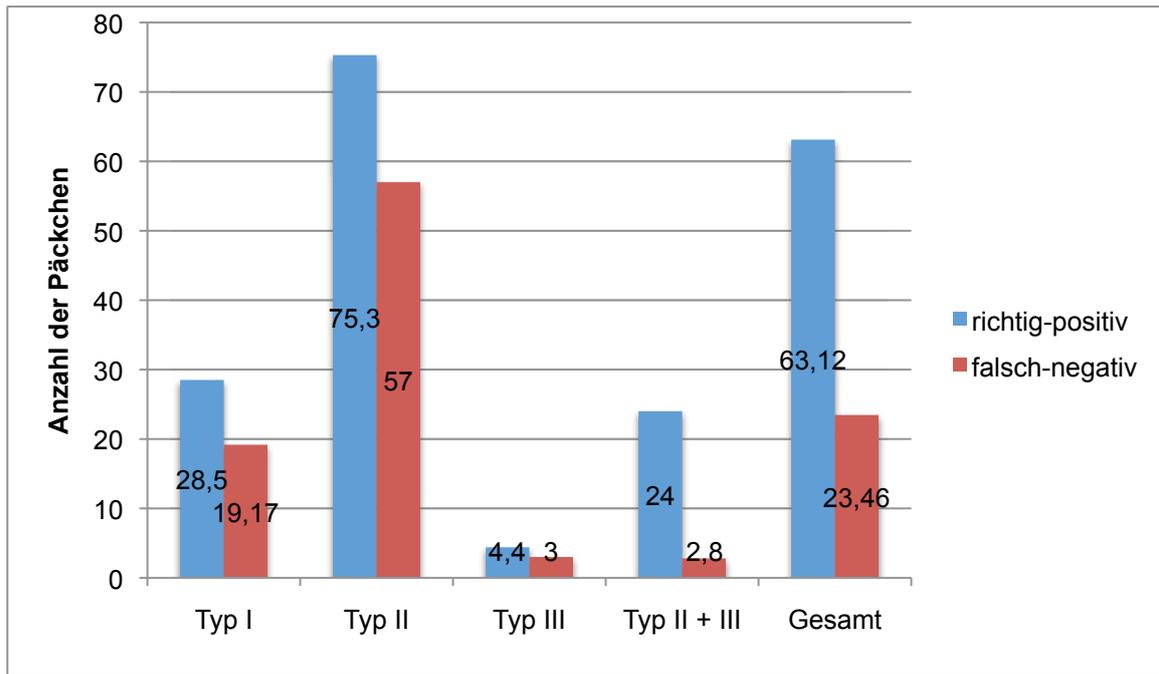


Abb. 18: Korrelation der durchschnittlichen Anzahl der inkorporierten Päckchen mit dem Ergebnis des CT-Localizers

Typ I: flüssig, geschluckt; Typ II: fest, geschluckt; Typ III: fest, gestopft

Bei allen Arten des *Body Packing* ist die durchschnittliche Anzahl der inkorporierten Päckchen bei richtig-positiv diagnostizierten CT-Localizern höher ist als bei falsch-negativ diagnostizierten CT-Localizern. Die diagnostische Aussagekraft des CT-Localizers nimmt also bei höherer Päckchenanzahl zu.

Bei einem Vergleich der durchschnittlichen Dichte der Päckchen im CT-Localizer in Abhängigkeit von der Korrektheit der Bewertung konnte kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Die Dichtewerte der Päckchen waren vergleichbar bei richtig-positiv bewerteten CT-Localizern ($62,61 \pm 17,54$) und falsch-negativ bewerteten CT-Localizern ($61,85 \pm 21,94$).

Somit konnte nachgewiesen werden, dass die Aussagefähigkeit des CT-Localizers bei Patienten mit Verdacht auf *Body Packing* in Abhängigkeit von der Art des *Body Packings* sowie der Anzahl der inkorporierten Päckchen variiert.

CT-Localizer bei Patienten, die Päckchen mit Kokain in fester Form geschluckt haben (Typ II), hatten die höchste Sensitivität mit 0,92. CT-Localizer bei Patienten, die Päckchen mit Kokain in flüssiger Form geschluckt haben (Typ I), hatten die geringste Sensitivität mit 0,25.

Die durchschnittliche Anzahl inkorporierter Päckchen in Abhängigkeit von der Art des *Body Packing* bei einem Vergleich von richtig-positiv und falsch-negativ bewerteten CT-

Localizern wies einen deutlichen Unterschied auf. Im Durchschnitt war die Anzahl inkorporierter Päckchen bei richtig-positiv bewerteten CT-*Localizern* signifikant höher.

Es konnte jedoch kein signifikanter Unterschied in der durchschnittlichen Dichte der Päckchen der richtig-positiv und falsch-negativ bewerteten CT-*Localizer* nachgewiesen werden.

Die Schwierigkeiten der Diagnostik des CT-*Localizers* bei Nachweis von *Body Packing* sind mit denen der konventionellen Röntgendiagnostik vergleichbar. Bei beiden Modalitäten ist die Detektion der Päckchen erschwert durch eine geringe Päckchenanzahl sowie der Art des *Body Packing* mit Kokain in flüssiger Form.

Die Sensitivität des CT-*Localizers* bei Patienten mit Verdacht auf *Body Packing* ist vergleichbar mit der einer konventionellen Röntgendiagnostik, bei einer geringen Strahlenexposition (siehe Kapitel 5.2).

5.5 Effektive Dosis des CT-*Localizers* und potentielle Dosisreduktion

Im Vergleich mit einer konventionellen Röntgenuntersuchung ist die Strahlenexposition durch einen CT-*Localizer* deutlich geringer [97,98]. Wie auch in Tabelle 21 (in Kapitel 5.2) bereits aufgeführt, ist auch in dieser Studie die effektive Dosis des CT-*Localizers* im Vergleich mit Werten der konventionellen Diagnostik bei Patienten mit Verdacht auf *Body Packing* um ein Vielfaches geringer [58,67,75], bis zu einem Faktor von 21,7 ($2,39 \pm 0,29$ mSv konventionelles Röntgen in einer Ebene von Ziegeler et al. bzw. $0,11 \pm 0,01$ mSv des CT-*Localizers* in dieser Studie) [75].

Die effektive Dosis einer Standard-Abdomen-CT-Untersuchung beträgt das 6,1-fache einer konventionellen Röntgenuntersuchung des Abdomen [67]. Im Tiermodell wurden bei der Diagnostik von *Body Packets* in einem *Low-Dose*-Protokoll akzeptable Ergebnisse erzielt mit einem Röhrenstrom von 124 mA, einer Röhrenspannung von 80 kV und einer effektiven Dosis von 1,0 mSv [70].

Diese Studie zielte auf eine Reduktion der effektiven Dosis ab durch den Verzicht auf die *Low-Dose*-CT nach positiv bewertetem CT-*Localizer*. Somit erfolgte ein Vergleich der Strahlenexposition von *Low-Dose*-CT und CT-*Localizer*.

Der hohe PPV des CT-*Localizers* von 1,0 kam zustande, da es in keinem Fall zu einer falsch-positiven Bewertung des CT-*Localizers* kam. Somit wäre kein Patient aufgrund der CT-*Localizer*-Bewertung fälschlicherweise als *Body Packer* diagnostiziert worden. Alle für *Body Packing* positiv bewerteten CT-*Localizer* waren korrekt bewertet, wie durch die *Low-Dose*-CT bestätigt werden konnte. Diese Ergebnisse erlauben die Erwägung einer verlässlichen Diagnostik des *Body Packing* basierend auf einem positiv bewerteten CT-

Localizer. In einem solchen Fall ist eine beträchtliche Reduktion der effektiven Dosis im Rahmen der bildgebenden Diagnostik möglich.

In dieser Studie lag die durchschnittliche Strahlenexposition der *Body Packer* mit positiv bewertetem *CT-Localizer* bei $2,06 \pm 0,23$ mSv durch die standardmäßige Anfertigung eines *CT-Localizers* zur Planung sowie einer *Low-Dose-CT*.

Die durchschnittliche effektive Dosis der alleinigen *Low-Dose-CT*-Untersuchung der *Body Packer* mit positiv bewerteten *CT-Localizer* lag bei $1,95 \pm 0,23$ mSv, was 94,7 % der gesamten effektiven Dosis entspricht. Die durchschnittliche effektive Dosis des *CT-Localizers* lag bei $0,11 \pm 0,01$ mSv, was 5,3 % der effektiven Dosis entspricht. Diese Werte sind in Tabelle 26 gegenübergestellt.

Tabelle 26: Durchschnittliche effektive Dosis der *Low-Dose-CT* und des *CT-Localizers* der *Body Packer* mit positiv bewertetem *CT-Localizer*

Untersuchung	Durchschnittliche effektive Dosis	Standardabweichung	Range	% der gesamten effektiven Dosis
<i>Low-Dose-CT</i> inkl. <i>CT-Localizer</i> bei positivem <i>CT-Localizer</i>	2,06 mSv	0,23 mSv	1,77 - 3,24 mSv	100 %
<i>Low-Dose-CT</i> bei positivem <i>CT-Localizer</i>	1,95 mSv	0,23 mSv	1,65 - 3,14 mSv	94,7 %
Positive <i>CT-Localizer</i>	0,11 mSv	0,01 mSv	0,09 - 0,14 mSv	5,3 %

mSv: Millisievert

Somit betrug die potentielle Ersparnis der effektiven Dosis durchschnittlich $1,95 \pm 0,23$ mSv bei Nachweis inkorporierter Päckchen im *CT-Localizer*. Ein Verzicht auf die *Low-Dose-Abdomen-CT* im Falle eines positiven Befundes für *Body Packing* im *CT-Localizer* bei allen 41 Patienten hätte eine durchschnittliche Dosisersparnis von 94,7 % ermöglicht (Abbildung 19).

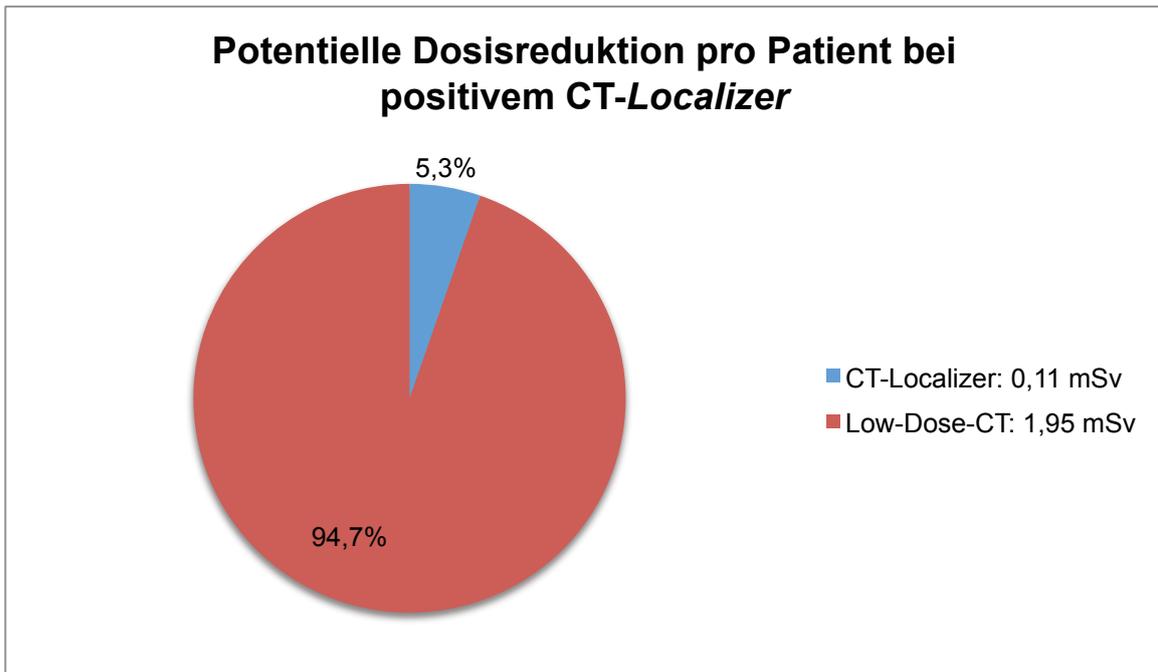


Abb. 19: Potentielle Reduktion der effektiven Dosis bei Patienten mit positiv bewertetem CT-Localizer

mSv: Millisievert

Im Falle eines negativ bewerteten CT-Localizers ist zum Ausschluss des Verdachtes auf *Body Packing* die Anfertigung der *Low-Dose-CT*-Untersuchung unerlässlich.

Die effektive Dosis für die Gesamtkohorte (156 Patienten) lag bei $2,12 \pm 0,47$ mSv für die gesamte CT-Untersuchung und betrug $2,01 \pm 0,47$ mSv für das *Low-Dose-CT* und $0,11 \pm 0,01$ mSv für den CT-Localizer (Tabelle 27).

Tabelle 27: Durchschnittliche effektive Dosis der Low-Dose-CT und des CT-Localizers aller Patienten

Untersuchung	Durchschnittliche effektive Dosis	Standardabweichung	Range	% der gesamten effektiven Dosis
<i>Low-Dose-CT</i> inkl. CT-Localizer	2,12 mSv	0,47 mSv	1,35 - 4,52 mSv	100 %
<i>Low-Dose-CT</i> gesamt	2,01 mSv	0,47 mSv	1,26 - 4,41 mSv	94,8 %
CT-Localizer gesamt	0,11 mSv	0,01 mSv	0,08 - 0,14 mSv	5,2 %

mSv: Millisievert

Die effektive Dosis aller CT-Untersuchungen der gesamten Kohorte betrug $331,24 \pm 0,47$ mSv. Die effektive Dosis der *Low-Dose-CT* der Patienten mit positivem *CT-Localizer* betrug $79,98 \pm 0,23$ mSv. Somit wäre in Bezug auf die Gesamtkohorte eine Reduktion der effektiven Dosis um insgesamt 24,15 % möglich gewesen (Abbildung 20).

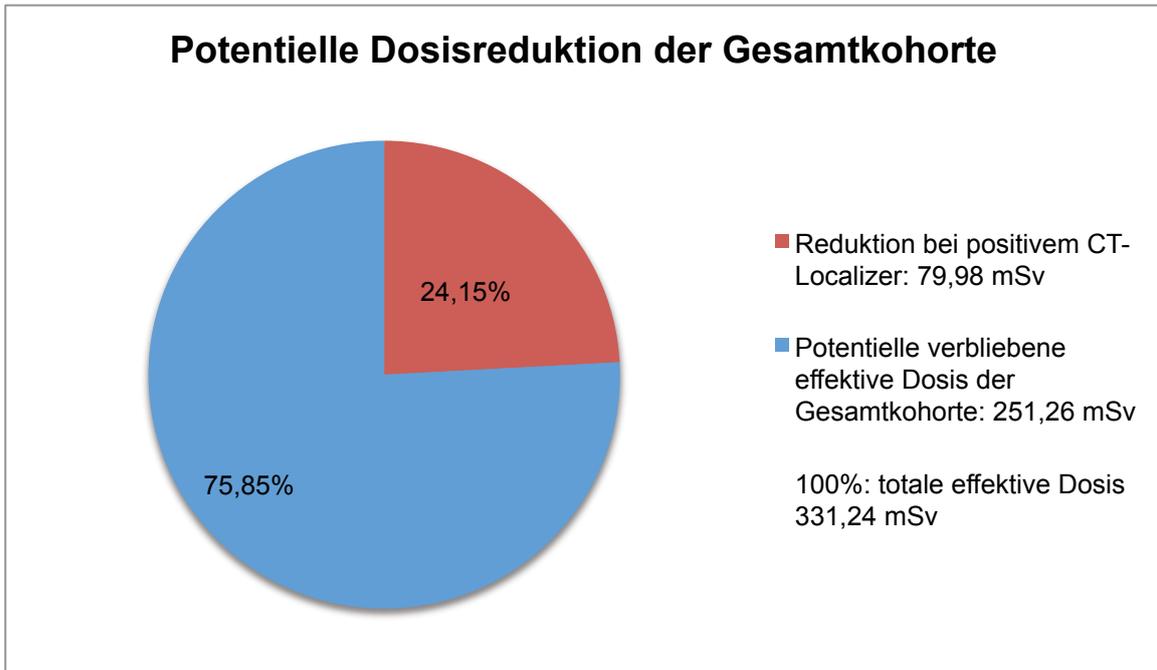


Abb. 20: Potentielle Dosisreduktion der Gesamtkohorte bei Verzicht auf die *Low-Dose-CT* nach positiv bewertetem *CT-Localizer*

mSv: Millisievert

5.6 Limitationen

Intrakorporal geschmuggelte Substanzen sind vielfältig. So wurden bereits Ecstasy [6], Amphetamine [9] und Marihuana [10,11], aber vor allem Kokain, Heroin und Cannabis-Produkte [12,13] bei *Body Packern* nachgewiesen. In dieser Studie wurde ausschließlich Kokain nachgewiesen. Somit beziehen sich die Ergebnisse der *CT-Localizer*-Bewertung bei *Body Packern* lediglich auf den Nachweis von mit Kokain gefüllten Päckchen. Der Nachweis richtete sich auf geschluckte Päckchen, die Kokain in flüssiger oder fester Form enthielten sowie auf gestopfte Päckchen, die Kokain in fester Form enthielten.

Als Referenzstandard diente die *Low-Dose-CT*. Patienten, bei denen hier keine inkorporierten Päckchen nachgewiesen werden konnten, wurden nicht weiter beobachtet. Somit war ein Vergleich des Untersuchungsergebnisses mit einer weiteren Stuhlanalyse in diesen Fällen nicht möglich und aufgrund des fehlenden Nachweises von Päckchen ethisch nicht vertretbar.

Es handelt sich um eine retrospektive Datenauswertung mit einer Stichprobengröße von 54 *Body Packern*.

5.7 Ausblick

Die in dieser Studie untersuchte mögliche Dosisreduktion betrifft lediglich die Patienten, die bereits anhand des *CT-Localizers* als *Body Packer* diagnostiziert werden konnten. Gemittelt führt dies jedoch auch zu einer Reduktion der Dosis des Gesamtkollektives, inklusive der nicht als *Body Packer* diagnostizierten Patienten.

Die hervorragende Bildqualität der *Low-Dose-CT*-Untersuchung sowie die Ergebnisse der Literaturrecherche erlauben weitere Überlegungen bzgl. einer Reduktion der Strahlenexposition durch die *Low-Dose-CT* und einer Optimierung der Untersuchungsprotokolle bei Patienten mit Verdacht auf *Body Packing*, beispielsweise durch eine weitere Reduktion von Röhrenstrom und/oder Röhrenspannung.

Darüber hinaus konnte mit dieser Studie nachgewiesen werden, dass der für gewöhnlich lediglich zu Planungszwecken angefertigte *CT-Localizer* als diagnostisches Mittel verwendet werden kann und eine exzellente Bildqualität aufweist. In unserem Fall war die Sensitivität des *CT-Localizers* bei der Frage nach *Body Packing* im Vergleich mit den Literaturangaben einer konventionellen Röntgendiagnostik deutlich höher bei geringerer Strahlenexposition. Zusätzlich liegen Vorteile in der unmittelbaren Verfügbarkeit der *CT*-Untersuchung nach erfolgtem *CT-Localizer*. Hierzu können weitere Studien die Eignung des *CT-Localizers* als diagnostisches Mittel in Hinblick auf andere klinische Fragestellungen wie beispielsweise einen Ileus untersuchen.

6 Schlussfolgerung

Bei Patienten mit Verdacht auf *Body Packing* liegt eine besondere Schwierigkeit in der Wahl einer geeigneten Methode zum Nachweis inkorporierter Päckchen, da es sich bei den Patienten um zumeist junge und gesunde Menschen handelt, die keine Symptome einer Komplikation aufweisen und die Bildgebung mit einer Strahlenexposition verbunden ist. Etabliert hat sich die Anfertigung einer *Low-Dose-CT*, die jedoch mit einer Strahlenexposition für die Patienten verbunden ist. Gemäß dem ALARA-Prinzip ist es ein wichtiges Ziel, die effektive Dosis für den Patienten stets so gering wie möglich zu halten. Vor diesem Hintergrund erfolgte in dieser Studie eine Evaluation der diagnostischen Aussagekraft des *CT-Localizers* bei der Frage nach inkorporierten Päckchen im Hinblick auf eine mögliche Reduktion der Strahlenexposition.

Bei der Diagnostik *des Body Packing* konnte der *CT-Localizer*, als Planungsbild für die anschließende *Low-Dose-CT*, als eigenständige diagnostische Methode zuverlässig inkorporierte Päckchen nachweisen.

Im Vergleich mit der *Low-Dose-CT* ist die Sensitivität des *CT-Localizers* zum Nachweis inkorporierter Päckchen gering (0,76). Aus diesem Grund ist der *CT-Localizer* für einen sicheren Ausschluss des Verdachtes auf *Body Packing* nicht geeignet.

Der positive Vorhersagewert des *CT-Localizers* bei der Diagnostik von *Body Packing* beträgt 1,0. Somit war die Bewertung der positiven *CT-Localizer* in allen Fällen korrekt. Anhand der Evaluation des *CT-Localizers* kam es in keinem Fall zu einer falsch-positiven Bewertung der Patienten. Niemand wäre aufgrund der Bewertung des *CT-Localizers* fälschlicherweise als *Body Packer* diagnostiziert worden.

Es gab deutliche Unterschiede bei der Zuverlässigkeit der Detektion von inkorporierten Päckchen in Abhängigkeit von der Art des *Body Packing* sowie der Anzahl inkorporierter Päckchen: Es lag ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Anzahl inkorporierter Päckchen und einer positiven Bewertung des *CT-Localizers* vor. Bei höherer Päckchenanzahl nahm die diagnostische Aussagekraft des *CT-Localizers* zu.

Zusätzlich war die Sensitivität der *CT-Localizer* bei *Body Packing* Typ II (geschluckte Päckchen, Kokain in fester Form) am höchsten (0,92). *CT-Localizer* bei *Body Packing* Typ I (geschluckte Päckchen, Kokain in flüssiger Form) wiesen die geringste Sensitivität auf (0,25).

Die Beurteilung der Bildqualität sowohl der *Low-Dose-CT*-Untersuchungen als auch der *CT-Localizer* ergab auf einer 5-Stufen-Skala (1 = exzellent, 5 = nicht diagnostizierbar) exzellente Ergebnisse mit einer durchschnittlichen Bewertung der *Low-Dose-CT*-

Untersuchungen von $1,13 \pm 0,34$ und der *CT-Localizer* von $1,24 \pm 0,44$. Hier konnte ein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.

Bei einem Vergleich der Bildqualität von richtig-positiv und falsch-negativ bewerteten *CT-Localizern* ergaben sich vergleichbare Werte ohne Nachweis eines signifikanten Unterschiedes. Somit konnte eine konstant gute Bildqualität nachgewiesen werden, die das Ergebnis der Bewertung nicht beeinflusst hatte.

Der Wert des *CT-Localizers* bei der Diagnostik von *Body Packing* liegt in seinem hohen PPV (1,0), der die Zuverlässigkeit des Nachweises von inkorporierten Päckchen belegt.

Dieses Ergebnis ermöglicht, durch einen Verzicht auf die *Low-Dose-CT* bei Patienten mit positiv bewertetem *CT-Localizer*, eine Reduktion der effektiven Dosis um durchschnittlich $1,95 \pm 0,23$ mSv, was 94,7 % entspricht. Die benötigte effektive Dosis für den *CT-Localizer* beträgt $0,11 \pm 0,01$ mSv. Für die Gesamtkohorte würde ein solches Verfahren eine Reduktion der effektiven Dosis um 24,15 % bedeuten.

Bei negativ bewertetem *CT-Localizer* ist zum sicheren Ausschluss von *Body Packing* die Anfertigung einer ergänzenden *Low-Dose-CT* jedoch unerlässlich.

7 Literatur- und Quellenverzeichnis

- 1 Ab Hamid S, Abd Rashid SN, Mohd Saini S: Characteristic imaging features of body packers: a pictorial essay. *Jpn J Radiol* 2012;30:386-392.
- 2 McCarron MM, Wood JD: The cocaine 'body packer' syndrome. Diagnosis and treatment. *JAMA* 1983;250:1417-1420.
- 3 June R, Aks SE, Keys N, Wahl M: Medical outcome of cocaine bodystuffers. *J Emerg Med* 2000;18:221-224.
- 4 Traub SJ, Hoffman RS, Nelson LS: Body packing--the internal concealment of illicit drugs. *N Engl J Med* 2003;349:2519-2526.
- 5 Wetli CV, Mittlemann RE: The "body packer syndrome"-toxicity following ingestion of illicit drugs packaged for transportation. *J Forensic Sci* 1981;26:492-500.
- 6 Krishnan A, Brown R: Plain abdominal radiography in the diagnosis of the "body packer". *J Accid Emerg Med* 1999;16:381.
- 7 Booker RJ, Smith JE, Rodger MP: Packers, pushers and stuffers--managing patients with concealed drugs in UK emergency departments: a clinical and medicolegal review. *Emerg Med J* 2009;26:316-320.
- 8 Roberts JR, Price D, Goldfrank L, Hartnett L: The bodystuffer syndrome: a clandestine form of drug overdose. *Am J Emerg Med* 1986;4:24-27.
- 9 Watson CJ, Thomson HJ, Johnston PS: Body-packing with amphetamines--an indication for surgery. *J R Soc Med* 1991;84:311-312.
- 10 Dassel PM, Punjabi E: Ingested marihuana-filled balloons. *Gastroenterology* 1979;76:166-169.
- 11 Spadari M, Canioni D, Gregoire E, Drouet G, Bourdon JH, Arditti J, Micallef J: Cannabis body packing: two case reports. *Clin Toxicol (Phila)* 2011;49:862-864.
- 12 Hergan K, Kofler K, Oser W: Drug smuggling by body packing: what radiologists should know about it. *Eur Radiol* 2004;14:736-742.
- 13 Pinto A, Reginelli A, Pinto F, Sica G, Scaglione M, Berger FH, Romano L, Brunese L: Radiological and practical aspects of body packing. *Br J Radiol* 2014;87:20130500.
- 14 Deitel M, Syed AK: Intestinal obstruction by an unusual foreign body. *Can Med Assoc J* 1973;109:211-212.
- 15 Flach PM RS, Thali MJ: Forensic and Clinical Usage of X-rays in Body Packing; in Thali MJ VM, Brogdon BG (ed): *Brogdon's forensic radiology*. New York, CRC Press, 2011, vol 2nd Edition, pp 311-334.
- 16 Traub SJ, Kohn GL, Hoffman RS, Nelson LS: Pediatric "body packing". *Arch Pediatr Adolesc Med* 2003;157:174-177.
- 17 Beno S, Calello D, Baluffi A, Henretig FM: Pediatric body packing: drug smuggling reaches a new low. *Pediatr Emerg Care* 2005;21:744-746.

- 18 Cordero DR, Medina C, Helfgott A: Cocaine body packing in pregnancy. *Ann Emerg Med* 2006;48:323-325.
- 19 Rauber K, Müller D: [General abdominal radiography for the identification of drug smugglers]. *Dtsch Med Wochenschr* 1983;108:1549-1551.
- 20 Jones OM, Shorey BA: Body packers: grading of risk as a guide to management and intervention. *Ann R Coll Surg Engl* 2002;84:131-132.
- 21 Wackerle B, Rupp N, von Clarmann M, Kahn T, Heller H, Feuerbach S: [Detection of narcotic-containing packages in "body-packers" using imaging procedures. Studies in vitro and in vivo]. *Rofo* 1986;145:274-277.
- 22 Pidoto RR, Agliata AM, Bertolini R, Mainini A, Rossi G, Giani G: A new method of packaging cocaine for international traffic and implications for the management of cocaine body packers. *J Emerg Med* 2002;23:149-153.
- 23 de Bakker JK, Nanayakkara PW, Geeraedts LM, de Lange ES, Mackintosh MO, Bonjer HJ: Body packers: a plea for conservative treatment. *Langenbecks Arch Surg* 2012;397:125-130.
- 24 Algra PR, Brogdon BG, Marugg RC: Role of radiology in a national initiative to interdict drug smuggling: the Dutch experience. *AJR Am J Roentgenol* 2007;189:331-336.
- 25 de Prost N, Lefebvre A, Questel F, Roche N, Pourriat JL, Huchon G, Rabbat A: Prognosis of cocaine body-packers. *Intensive Care Med* 2005;31:955-958.
- 26 Bulstrode N, Banks F, Shrotria S: The outcome of drug smuggling by 'body packers'--the British experience. *Ann R Coll Surg Engl* 2002;84:35-38.
- 27 Mozes O, Guranda L, Portnoy O, Apter S, Konen E, Amitai MM: Radiographic features of intracorporeally smuggled liquid cocaine. *Forensic Sci Med Pathol* 2014;10:535-542.
- 28 Burillo-Putze G, Becker LT, Rodríguez MG, Torres JS, Nogué S: Liquid cocaine body packers. *Clin Toxicol (Phila)* 2012;50:522-524.
- 29 Markovits N, Kurnik D, Halkin H, Guranda L, Cohen A, Katz M, Olchovsky D, Mayan H, Loebstein R: "Body packers" in Israel: a case series. *Isr Med Assoc J* 2013;15:639-645.
- 30 Oliver Kayser NA: *Technische Biochemie: Die Biochemie und industrielle Nutzung von Naturstoffen*. Wiesbaden, Springer Spektrum, 2015.
- 31 Boys A, Marsden J, Strang J: Understanding reasons for drug use amongst young people: a functional perspective. *Health Educ Res* 2001;16:457-469.
- 32 Musto DF: International traffic in coca through the early 20th century. *Drug Alcohol Depend* 1998;49:145-156.
- 33 Brain PF, Coward GA: A review of the history, actions, and legitimate uses of cocaine. *J Subst Abuse* 1989;1:431-451.
- 34 Treadwell SD, Robinson TG: Cocaine use and stroke. *Postgrad Med J* 2007;83:389-394.

- 35 Chande M: Bolivia and USA wage war on the coca leaf farmers. *Lancet* 2002;360:1573.
- 36 Warner EA: Cocaine abuse. *Ann Intern Med* 1993;119:226-235.
- 37 Martin-Schild S, Albright KC, Halleivi H, Barreto AD, Philip M, Misra V, Grotta JC, Savitz SI: Intracerebral hemorrhage in cocaine users. *Stroke* 2010;41:680-684.
- 38 Wetli CV, Wright RK: Death caused by recreational cocaine use. *JAMA* 1979;241:2519-2522.
- 39 Pitts WR, Lange RA, Cigarroa JE, Hillis LD: Cocaine-induced myocardial ischemia and infarction: pathophysiology, recognition, and management. *Prog Cardiovasc Dis* 1997;40:65-76.
- 40 Isner JM, Estes NA, Thompson PD, Costanzo-Nordin MR, Subramanian R, Miller G, Katsas G, Sweeney K, Sturner WQ: Acute cardiac events temporally related to cocaine abuse. *N Engl J Med* 1986;315:1438-1443.
- 41 Kilbey MM, Breslau N, Andreski P: Cocaine use and dependence in young adults: associated psychiatric disorders and personality traits. *Drug Alcohol Depend* 1992;29:283-290.
- 42 Mizrahi S, Laor D, Stamler B: Intestinal ischemia induced by cocaine abuse. *Arch Surg* 1988;123:394.
- 43 (EMCDDA) EBfDuD: Europäischer Drogenbericht: Trends und Entwicklungen, 2014
- 44 Kufner H: [Epidemiology of substance use and substance use disorders in Germany]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 2010;53:271-283.
- 45 Mostardt S, Flöter S, Neumann A, Wasem J, Pfeiffer-Gerschel T: [Public expenditure caused by the consumption of illicit drugs in Germany]. *Gesundheitswesen* 2010;72:886-894.
- 46 Taheri MS, Hassanian-Moghaddam H, Birang S, Hemadi H, Shahnazi M, Jalali AH, Shakiba M, Nahvi V: Swallowed opium packets: CT diagnosis. *Abdom Imaging* 2008;33:262-266.
- 47 Bettinger J: Cocaine intoxication: massive oral overdose. *Ann Emerg Med* 1980;9:429-430.
- 48 Schulz B, Grossbach A, Gruber-Rouh T, Zangos S, Vogl TJ, Eichler K: Body packers on your examination table: How helpful are plain x-ray images? A definitive low-dose CT protocol as a diagnosis tool for body packers. *Clin Radiol* 2014;69:e525-530.
- 49 Freed TA, Sweet LN, Gauder PJ: Case reports balloon obturation bowel obstruction: a hazard of drug smuggling. *AJR Am J Roentgenol* 1976;127:1033-1034.
- 50 Hutchins KD, Pierre-Louis PJ, Zaretski L, Williams AW, Lin RL, Natarajan GA: Heroin body packing: three fatal cases of intestinal perforation. *J Forensic Sci* 2000;45:42-47.
- 51 Rouse DA, Fysh R: Body packing presenting as sudden collapse. *Med Sci Law* 1992;32:270-271.

- 52 Koehler SA, Ladham S, Rozin L, Shakir A, Omalu B, Dominick J, Wecht CH: The risk of body packing: a case of a fatal cocaine overdose. *Forensic Sci Int* 2005;151:81-84.
- 53 Suarez CA, Arango A, Lester JL: Cocaine-condom ingestion. Surgical treatment. *JAMA* 1977;238:1391-1392.
- 54 Tomaszewski C, McKinney P, Phillips S, Brent J, Kulig K: Prevention of toxicity from oral cocaine by activated charcoal in mice. *Ann Emerg Med* 1993;22:1804-1806.
- 55 Hoffman RS, Smilkstein MJ, Goldfrank LR: Whole bowel irrigation and the cocaine body-packer: a new approach to a common problem. *Am J Emerg Med* 1990;8:523-527.
- 56 de Beer SA, Spiessens G, Mol W, Fa-Si-Oen PR: Surgery for body packing in the Caribbean: a retrospective study of 70 patients. *World J Surg* 2008;32:281-285; discussion 286-287.
- 57 Beerman R, Nunez D, Wetli CV: Radiographic evaluation of the cocaine smuggler. *Gastrointest Radiol* 1986;11:351-354.
- 58 Poletti PA, Canel L, Becker CD, Wolff H, Elger B, Lock E, Sarasin F, Bonfanti MS, Dupuis-Lozeron E, Perneger T, Platon A: Screening of illegal intracorporeal containers ("body packing"): is abdominal radiography sufficiently accurate? A comparative study with low-dose CT. *Radiology* 2012;265:772-779.
- 59 Niewiarowski S, Gogbashian A, Afaq A, Kantor R, Win Z: Abdominal X-ray signs of intra-intestinal drug smuggling. *J Forensic Leg Med* 2010;17:198-202.
- 60 Pinsky MF, Ducas J, Ruggere MD: Narcotic smuggling: the double condom sign. *J Can Assoc Radiol* 1978;29:79-81.
- 61 Karhunen PJ, Suoranta H, Penttilä A, Pitkäranta P: Pitfalls in the diagnosis of drug smuggler's abdomen. *J Forensic Sci* 1991;36:397-402.
- 62 Burillo-Putze G, Becker LT, Rodríguez MG, Torres JS, Nogué S: Liquid cocaine body packers. *Clin Toxicol (Phila)* 2012;50:522-524.
- 63 Meijer R, Bots ML: Detection of intestinal drug containers by ultrasound scanning: an airport screening tool? *Eur Radiol* 2003;13:1312-1315.
- 64 Alzen G, Banning S, Günther R: [Sonographic detectability of narcotic drug containers in the gastrointestinal tract. Experimental research in the dog]. *Rofo* 1987;146:544-547.
- 65 Sica G, Guida F, Bocchini G, Iaselli F, Iadevito I, Scaglione M: Imaging of drug smuggling by body packing. *Semin Ultrasound CT MR* 2015;36:39-47.
- 66 Bulakci M, Ozbakir B, Kiris A: Detection of body packing by magnetic resonance imaging: a new diagnostic tool? *Abdom Imaging* 2012
- 67 Bulakci M, Kalelioglu T, Bulakci BB, Kiris A: Comparison of diagnostic value of multidetector computed tomography and X-ray in the detection of body packing. *Eur J Radiol* 2013;82:1248-1254.
- 68 Hahn IH, Hoffman RS, Nelson LS: Contrast CT scan fails to detect the last heroin packet. *J Emerg Med* 2004;27:279-283.

- 69 Pache G, Einhaus D, Bulla S, Baumann T, Langer M, Blanke P: [Low-dose computed tomography for the detection of cocaine body packs: clinical evaluation and legal issues]. *Rofo* 2012;184:122-129.
- 70 Maurer MH, Niehues SM, Schnapauff D, Grieser C, Rothe JH, Waldmüller D, Chopra SS, Hamm B, Denecke T: Low-dose computed tomography to detect body-packing in an animal model. *Eur J Radiol* 2011;78:302-306.
- 71 Poletti PA, Platon A, Rutschmann OT, Schmidlin FR, Iselin CE, Becker CD: Low-dose versus standard-dose CT protocol in patients with clinically suspected renal colic. *AJR Am J Roentgenol* 2007;188:927-933.
- 72 Kim BS, Hwang IK, Choi YW, Namkung S, Kim HC, Hwang WC, Choi KM, Park JK, Han TI, Kang W: Low-dose and standard-dose unenhanced helical computed tomography for the assessment of acute renal colic: prospective comparative study. *Acta Radiol* 2005;46:756-763.
- 73 Keyzer C, Tack D, de Maertelaer V, Bohy P, Gevenois PA, Van Gansbeke D: Acute appendicitis: comparison of low-dose and standard-dose unenhanced multi-detector row CT. *Radiology* 2004;232:164-172.
- 74 Schmidt S, Hugli O, Rizzo E, Lepori D, Gudinchet F, Yersin B, Schnyder P, Meuwly JY: Detection of ingested cocaine-filled packets--diagnostic value of unenhanced CT. *Eur J Radiol* 2008;67:133-138.
- 75 Ziegeler E, Grimm JM, Wirth S, Uhl M, Reiser MF, Scherr MK: Computed tomography scout views vs. conventional radiography in body-packers - delineation of body-packs and radiation dose in a porcine model. *Eur J Radiol* 2012;81:3883-3889.
- 76 Ege G, Akman H, Kuzucu K, Yildiz S: Can computed tomography scout radiography replace plain film in the evaluation of patients with acute urinary tract colic? *Acta Radiol* 2004;45:469-473.
- 77 Kjellberg M, Al-Amiry B, Englund E, Sjöden GO, Sayed-Noor AS: Measurement of leg length discrepancy after total hip arthroplasty. The reliability of a plain radiographic method compared to CT-scanogram. *Skeletal Radiol* 2012;41:187-191.
- 78 Alkadhi H LS, Stolzmann P, Scheffel H: *Wie funktioniert CT?* , Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011.
- 79 Prokop M GM, Schaefer-Prokop C, van der Molen AJ: *Ganzkörper-Computertomographie*. Georg Thieme Verlag KG, 2007.
- 80 Einstein AJ: Medical imaging: the radiation issue. *Nat Rev Cardiol* 2009;6:436-438.
- 81 Hall EJ: Scientific view of low-level radiation risks. *Radiographics* 1991;11:509-518.
- 82 Brenner DJ, Hall EJ: Computed tomography--an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med* 2007;357:2277-2284.
- 83 Grupen C: *Grundkurs Strahlenschutz*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
- 84 (ESR) ESoR: White paper on radiation protection by the European Society of Radiology. *Insights Imaging* 2011;2:357-362.

- 85 Tamm EP, Rong XJ, Cody DD, Ernst RD, Fitzgerald NE, Kundra V: Quality initiatives: CT radiation dose reduction: how to implement change without sacrificing diagnostic quality. *Radiographics* 2011;31:1823-1832.
- 86 Willemink MJ, Leiner T, de Jong PA, de Heer LM, Nievelstein RA, Schilham AM, Budde RP: Iterative reconstruction techniques for computed tomography part 2: initial results in dose reduction and image quality. *Eur Radiol* 2013;23:1632-1642.
- 87 Båth M: Evaluating imaging systems: practical applications. *Radiat Prot Dosimetry* 2010;139:26-36.
- 88 Ledenius K, Svensson E, Stålhammar F, Wiklund LM, Thilander-Klang A: A method to analyse observer disagreement in visual grading studies: example of assessed image quality in paediatric cerebral multidetector CT images. *Br J Radiol* 2010;83:604-611.
- 89 Kröpil P, Lanzman RS, Walther C, Röhlen S, Godehardt E, Mödder U, Cohnen M: [Dose reduction and image quality in MDCT of the upper abdomen: potential of an adaptive post-processing filter]. *Rofo* 2010;182:248-253.
- 90 Boos J, Kröpil P, Klee D, Heusch P, Schimmöller L, Schaper J, Antoch G, Lanzman RS: Evaluation of the impact of organ-specific dose reduction on image quality in pediatric chest computed tomography. *Pediatr Radiol* 2014;44:1065-1069.
- 91 Carmichael JHE MC, Moores BM, Oestmann JW, Schibilla H, Teunen D, Van Tiggelen R, Wall B: European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images. Luxemburg, European Commission, 1996, Publication No. EUR 16260 EN,
- 92 Menzel HG SH, Teunen D: European Guidelines on Quality Criteria for Computed Tomography; in Bongartz G GS, Jurik AG, Leonardi M, van Meerten EvP, Geleijns J, Jessen KA, Panzer W, Shrimpton PC, Tosi G (ed). Luxemburg, European Commission, 2000, Publication No. EUR 16262 EN,
- 93 Medicine AAoPi: Report No. 96 The Measurement, Reporting, and Management of Radiation Dose in CT. College Park, 2008,
- 94 Landis JR, Koch GG: The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 1977;33:159-174.
- 95 Mettler FA, Thomadsen BR, Bhargavan M, Gilley DB, Gray JE, Lipoti JA, McCrohan J, Yoshizumi TT, Mahesh M: Medical radiation exposure in the U.S. in 2006: preliminary results. *Health Phys* 2008;95:502-507.
- 96 Kulkarni NM, Uppot RN, Eisner BH, Sahani DV: Radiation dose reduction at multidetector CT with adaptive statistical iterative reconstruction for evaluation of urolithiasis: how low can we go? *Radiology* 2012;265:158-166.
- 97 Nauer CB, Kellner-Weldon F, Von Allmen G, Schaller D, Gralla J: Effective doses from scan projection radiographs of the head: impact of different scanning practices and comparison with conventional radiography. *AJNR Am J Neuroradiol* 2009;30:155-159.
- 98 O'Daniel JC, Stevens DM, Cody DD: Reducing radiation exposure from survey CT scans. *AJR Am J Roentgenol* 2005;185:509-515.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn PD Dr. Falk Miese für die Überlassung des Dissertationsthemas und die Möglichkeit, diese Arbeit unter seiner Leitung durchzuführen. Ich bedanke mich ganz herzlich für die hervorragende Unterstützung, die zuverlässigen und schnellen Rückmeldungen sowie seine Geduld und den konstruktiven Austausch.

Bei Herrn Prof. Dr. Gerald Antoch bedanke ich mich für die freundliche Hilfestellung bei der Themenfindung und die exzellente Ausbildung während meiner Tätigkeit am Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie.

Herrn Dr. Joel Aissa danke ich herzlich für die sehr gute Betreuung und die fortwährende Hilfsbereitschaft. Seine Anregungen haben wesentlich zum Erstellen dieser Arbeit beigetragen.

Herrn Hohn und seinen Kollegen vom Hauptzollamt Düsseldorf danke ich ganz besonders für die außerordentlich interessanten Gespräche und die freundliche Unterstützung bei jeglichen Fragen zu dieser Thematik.

Ein herzlicher Dank gilt der gesamten Arbeitsgruppe Computertomographie und Dosis des Institutes für Diagnostische und Interventionelle Radiologie für die freundliche Arbeitsatmosphäre, die wertvollen Anregungen und die stete Hilfsbereitschaft.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern und meiner Schwester, die mich während meines Medizinstudiums und meiner Promotion zu jeder Zeit unterstützt haben. Durch ihren fortwährenden Glauben an mich haben sie mich stets in meinen Zielen bestärkt und mir geholfen, meinen Lebensweg zu gehen.
