

## Digitale Subtraktionsangiographie mit Kohlendioxid unter Verwendung eines neuen Gasdosiersystems

T. Schmitz-Rode, G. Alzen, R. W. Günther  
Klinik für Radiologische Diagnostik, Universitätsklinikum  
der RWTH Aachen (Direktor: Prof. Dr. R. W. Günther)

**Zusammenfassung. Ziel:** Die klinische Erprobung der digitalen Subtraktionsangiographie mit Kohlendioxid unter Verwendung eines neuentwickelten, einfachen Gasdosier- und Injektionssystems. **Methode und Patienten:** Eine Dosierkammer mit einstellbarem Volumen in Verbindung mit einem Spezial-Hahn (CO<sub>2</sub>-Angio-Set) portioniert das Gas. Durch Optimierung von Injektionsvolumen und -druck wurde eine konstante Ausströmcharakteristik angenähert. Das System wurde bei insgesamt 185 Patienten zur arteriellen Gefäßdarstellung mit CO<sub>2</sub> eingesetzt. Hauptindikationen waren Niereninsuffizienz oder Unverträglichkeitsanamnese gegenüber jodhaltigem Kontrastmittel. Bei Patienten mit einem femoralen Kanülenzugang wurde eine katheterlose Reflux-Angiographie durchgeführt. **Ergebnisse:** Das Injektionssystem ermöglichte eine vollständige und zusammenhängende Kontrastierung der Bauchaorta, der Viszeral-, Becken- und Beinarterien über einen Katheter (in 71 Fällen) oder in Refluxtechnik über eine femorale Kanüle (in 114 Fällen). Stenosen, Verschlüsse und Kollateralkreisläufe wurden auswertbar dargestellt. Aufgrund des Gas-Refluxes über die Aortenbifurkation war mit einer einseitigen femoralen Kanülenpunktion eine beidseitige Becken-Bein-Darstellung bis zur Unterschenkeltrifurkation möglich. Im distalen Oberschenkel-, Knie- und Unterschenkelbereich waren Bildqualitätsverbesserungen durch eine elektronische Einzelbildadditions-Software zu erzielen. **Schlußfolgerung:** Das Gasdosier- und Injektionssystem erlaubt eine adäquat beurteilbare Darstellung von Arterien unterhalb des Zwerchfells. Vorteilhaft sind die einfache und sichere Handhabung und die relativ niedrigen Kosten.

**Schlüsselwörter:** Digitale Subtraktionsangiographie – Kohlendioxid – Injektor

**Carbon dioxide digital subtraction angiography using a new gas management system. Purpose:** The clinical evaluation of digital subtraction angiography with carbon dioxide using a newly developed low-tech CO<sub>2</sub>-dosage- and injection system. **Method and patients:** The hand-held system (CO<sub>2</sub> angio set) consists of a dosage chamber in connection with a special stopcock to apportion the gas. By optimising injection volume and pressure steady gas flow characteristics are approximated. A safety design prevents unintentional gas injection. CO<sub>2</sub> arteriographies were performed on 185 patients. Main indications were renal insufficiency and a history of adverse reactions to iodinated contrast media. In patients with femoral can-

nula access, catheterless reflux angiography was performed. **Results:** The injection system provided complete and coherent visualisation of the abdominal aorta, visceral, pelvic, and lower limb arteries via catheter (71 cases) or via femoral cannula using reflux technique (114 cases). Stenoses, occlusions, and collaterals were assessable. Employing the gas reflux over the aortic bifurcation bilateral run-off studies up to the calf trifurcation were performed via unilateral femoral cannula. Use of a dedicated stacking software improved image quality of distal femoral, popliteal and calf arteries. **Conclusion:** The CO<sub>2</sub> management system allows adequate imaging of the arteries below the diaphragm. Ease and safety of use and low costs are advantageous.

**Key words:** Digital subtraction angiography – Carbon dioxide – Injektor

### Einleitung

Durch die Einführung der digitalen Subtraktionsangiographie (DSA) mit ihren Bildnachverarbeitungsmöglichkeiten hat die Gefäßdarstellung mit Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) einen neuen Aufschwung erfahren [6,8,11,20]. Kohlendioxid eignet sich als alternatives Kontrastmittel bei Patienten mit Niereninsuffizienz, Hyperthyreose oder einer Unverträglichkeitsanamnese gegenüber jodhaltigen Kontrastmitteln. Sinnvoll erscheint der Einsatz von Kohlendioxid auch als Teilersatz, um die renale und kardiale Belastung durch jodhaltiges Kontrastmittel zu begrenzen [7,12].

Dennoch wird die Kohlendioxid-Angiographie bisher nur relativ selten eingesetzt. Hauptursache sind die mit der manuellen Injektion verbundenen Nachteile. Zum einen kommt es aufgrund der Kompressibilität des Gases zu einem diskontinuierlichen Fluß, der oft eine unzureichende Bildqualität zur Folge hat, zum anderen sind die Vorbereitungen, wie das Abfüllen der Spritze, umständlich und immer mit dem Risiko der Luftbeimischung behaftet [7,11]. Um dem Problem zu begegnen, wurden Injektoren mit computergesteuerten Gasdosiervorrichtungen entwickelt [7,11,21], die allerdings bei relativ komplexer Gerätetechnik nicht einfach in der Handhabung sind.

Im folgenden stellen wir ein alternatives "low-tech"-Gasdosier- und Injektionssystem für die Kohlendioxid-Angiographie vor und berichten über dessen klinische Erprobung.

## Methode und Patienten

Die Gasdosier- und Injektionsvorrichtung (CO<sub>2</sub>-Angio-Set, Eigenentwicklung\* (Abb. 1), Herstellung und Vertrieb: Optimed Medizinische Instrumente, Ettlingen) besteht aus einer Dosierkammer in Form einer Spritze, deren Kolben in verschiedenen Stellungen arretiert werden kann, so daß eine Einstellung verschiedener Volumina möglich ist, und einem an den Spritzenauslaß gekoppelten, speziellen Dreiwegehahn, dessen drehbarer Kern eine L-Bohrung aufweist. In einer Stellung des Hahns wird die Dosierkammer mit der Zuleitung, in der anderen mit der Ableitung verbunden (Abb. 2). Aus Sicherheitsgründen ist eine direkte Verbindung zwischen Zu- und Ableitung nicht möglich.

Als Kohlendioxidquelle wird eine kommerziell erhältliche Gasvorratsflasche (hochreines Kohlendioxid, medizinische Qualität, Kohlendioxid DAB, Ph. Eur., nach Paragraph 2 AMG 1976, Reinheit  $\geq 99,7$  Vol.-%, z. B. Linde Technische Gase, Hohlriegelskreuth) in Verbindung mit einem Druckreduzierventil (Flaschendruckminderer FMD 650-03, DruVa, Eppelheim, oder 1-SS-H-3, GasTech GmbH, Castrop-Rauxel, Festeinstellung 1.3 bar) verwendet. Zur schnellen Platzierung am Angiographietisch bzw. zum Wechsel in einen anderen Angiographieraum hat sich die Anordnung der Stahlflasche auf einem Standwagen (z. B. Sekuroka, Roth GmbH, Karlsruhe) bewährt.

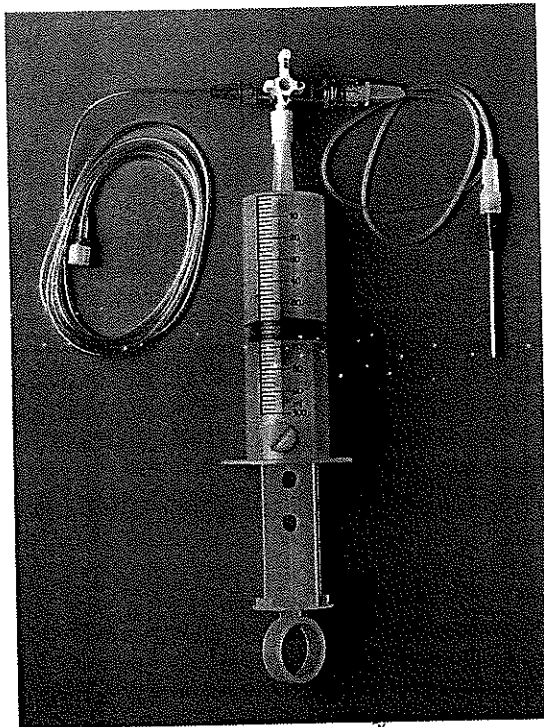


Abb. 1 Steril verpacktes Kohlendioxid-Dosier- und Injektionssystem (CO<sub>2</sub>-Angio-Set) für den Betrieb bei 1.3 bar Gasdruck; Dosierkammer in Form einer Spritze mit verstellbarem Volumen (20–100 ml) in Verbindung mit einem Spezialhahn und Zu- und Ableitung.

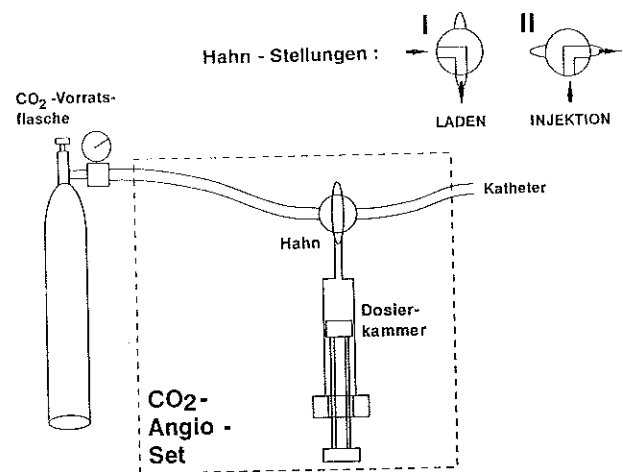
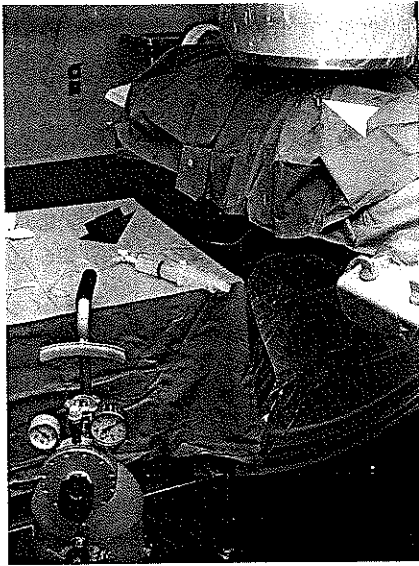


Abb. 2 Schematische Darstellung des Applikationssets: In Stellung „Laden“ wird die Zuleitung über den Hahn mit L-Bohrung mit der Dosierkammer verbunden. Die Kammer füllt sich mit unter Druck befindlichem Kohlendioxid aus der Vorratsflasche (1.3 bar). In Stellung „Injektion“ wird die Dosierkammer mit der Ableitung verbunden. Die portionierte Gasmenge entleert sich durch den Eigendruck in das Gefäßsystem. Eine direkte Verbindung von Zu- und Ableitung ist aus Sicherheitsgründen ausgeschlossen.

Das CO<sub>2</sub>-Angio-Set wird der sterilen Verpackung entnommen. Die ca. 2 m lange Zuleitung wird am Auslaß des Druckreduzierventils angeschlossen. Nach Spülung des Systems durch mehrere Hahndrehungen vor und zurück (=Laden und Entladen der Dosierkammer) ist das Kammer- und Schlauchsystem luftfrei. Die Ableitung wird mit dem proximalen Katheter- oder Kanülenende konnektiert (Abb. 3). Die Dosierkammer mit dem Hahn befindet sich in der Hand des Untersuchers. Der Hahn steht in der Position „Laden“. Nach Starten der DSA-Serie und Anfertigung der Maskenbilder erfolgt die Injektion des in der Dosierkammer portionierten Gasvolumens durch einfache Drehung des Hahns in die Stellung „Injektion“. Ein manuelles Betätigen des Spritzenkolbens bei Injektion ist nicht erwünscht und auch nicht möglich, da dieser in seiner Position fixiert ist. Nach Beendigung der Serie wird der Hahn in die Stellung „Laden“ zurückgedreht. Das System ist bereit für die nächste Serie.

Mit der beschriebenen Gasdosiervorrichtung wurden insgesamt 185 Patienten angiographiert. Dabei kamen zwei verschiedene Versionen zum Einsatz, die sich hinsichtlich der verwendeten Druck- und Volumenbereiche unterschieden. Während bei der ersten Version Volumina bis zu 20 ml bei 4–5 bar appliziert wurden, erlaubt die endgültige Ausführung die Injektion von Dosierkammervolumina von 20–100 ml, abgestuft in 20 ml-Schritten, bei einem Druck von 1.3 bar (Festeinstellung des Druckreduzierventils der Gasvorratsflasche). Das sich in das Gefäßsystem entspannende Gasvolumen ist bei beiden Ausführungen vergleichbar und betrug maximal 100 ml (Dosierkammervolumen multipliziert mit dem Gasdruck). Der Vorteil der endgültigen Konfiguration ist in einer besseren Annäherung an eine konstante Flußcharakteristik des ausströmenden Gases zu sehen. Wird bei 1.3 bar Betriebsdruck beispielsweise das Maximalvolumen von 100 ml eingestellt, so verlassen etwa 100 ml Gas die Dosierkammer und strömen in das Gefäßsystem, 100 ml Gas ver-

\* Schmitz-Rode, T., G. Alzen: Injektor für die Kohlendioxid-Angiographie. Deutsches Gebrauchsmuster DE G 9205798.5, Deutsches Patent erteilt DE P 4300551



**Abb. 3** Anordnung während der Angiographie: Die Zuleitung des CO<sub>2</sub>-Angio-Sets (schwarzer Pfeil) ist mit einer portablen Kohlendioxid-Vorratsflasche verbunden (links im Vordergrund, auf handelsüblichem Rollfuß, angeschlossen ist ein auf 1.3 bar festeingestelltes Reduzierventil mit Manometer). Die Ableitung ist mit der Punktionskanüle in der rechten Leiste verbunden (weiße Pfeilspitze).

bleiben in der Kammer, allerdings entspannt auf den systemischen Blutdruck. Das heißt, das injizierte Gasvolumen entspricht dem gewählten Dosierkammervolumen. Die gewählten Gasvolumina hängen von der darzustellenden Gefäßprovinz und der Größe des Patienten ab (Tab. 1).

Die Untersuchungen wurden auf einer Integris V 3000 (Philips, Hamburg) und einer Digitron 3-Angiographieeinheit (Siemens, Erlangen) durchgeführt. Die Bildfrequenz betrug im Bereich des Körperstamms 4/s, im Bereich der Extremitäten 1–2/s. In Zusammenarbeit mit Philips, Eindhoven, Niederlande, wurde für das System Integris V 3000 eine Einzelbild-Additions-Software für ein Negativ-Kontrastmittel entwickelt und eingesetzt.

Bei Darstellung der Beinarterien wurden die Beine durch Unterlegen eines Keilkissens (ca. 15° Schräge) angehoben. Zur Nierenarteriendarstellung wurde die ipsilaterale Körperseite um ca. 30° angehoben (Keilkissenunterlage). Bei Darmgasüberlagerung wurden 20 mg Butylscopolamin verabreicht. Alle Kohlendioxid-Angiogramme wurden elektronisch invertiert, um eine Darstellung in gewohnter Weise zu erhalten (Gefäß dunkel, Umgebung hell).

Die Indikationen für die Verwendung von Kohlendioxid als Kontrastmittel gibt Tab. 2 wieder. Bezogen auf die Zahl der untersuchten Patienten (insgesamt 185) setzten sich die mit Kohlendioxid dargestellten Gefäßgebiete folgendermaßen zusammen: Aorta abdominalis und Beckenarterien (16), Beckenarterien (76), Becken- und Beinarterien (56), Zöliako- und Mesenterikographie (20), Nierenarterien (14), Hämodialyse-shunts (3).

In 71 Fällen erfolgte die Untersuchung nach Legen eines Angiographie-Katheters (Pigtail 4-F oder 5-F, Sidewinder oder Cobra 5-F). In der Mehrzahl der Fälle (114) wurde die Angiographie über eine femorale Kanüle (18-G, 20-G, 22-G) zur Becken- oder Becken-Beinarteriendarstellung in Refluxtechnik durchgeführt. In diesem Kollektiv sind 38 überwiegend ambulante Patienten enthalten, bei denen eine Darstellung der Beckenarterien mit Kohlendioxid zusätzlich zur ipsilateralen Bein-

**Tab. 1** Kohlendioxid-Dosierung in Abhängigkeit vom darzustellenden Gefäßgebiet (Angabe des Volumens in ml\* pro Serie).

Bauchaorta	60–100
Beckenarterien	40–80
Beinarterien	40–60
Nierenarterien	20–40
Viszeralarterien	20–40
Hämodialyse-Shunt	20

\* Bei 1.3 bar Betriebsdruck entspricht das auf der Dosierkammer eingestellte Volumen dem injizierten Volumen.

**Tab. 2** Indikationen für die Wahl von Kohlendioxid als Angiographie-Kontrastmittel.

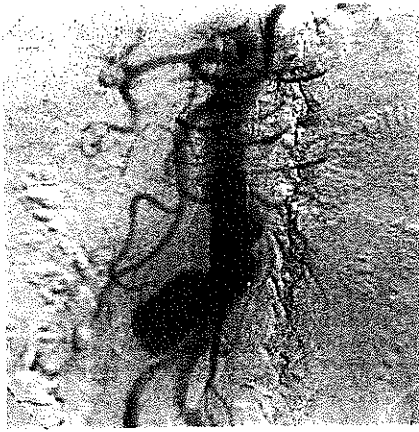
	Anzahl Patienten
Niereninsuffizienz	82
Unverträglichkeitsanamnese gegenüber jodhaltigem KM (inkl. Hyperthyreose)	29
katheterlose Refluxangiographie	38
Darstellung pathologischer Shunts	31
Suche nach Blutungsquelle	5
gesamt	185

arteriendarstellung mit jodhaltigem Kontrastmittel vorgenommen wurde.

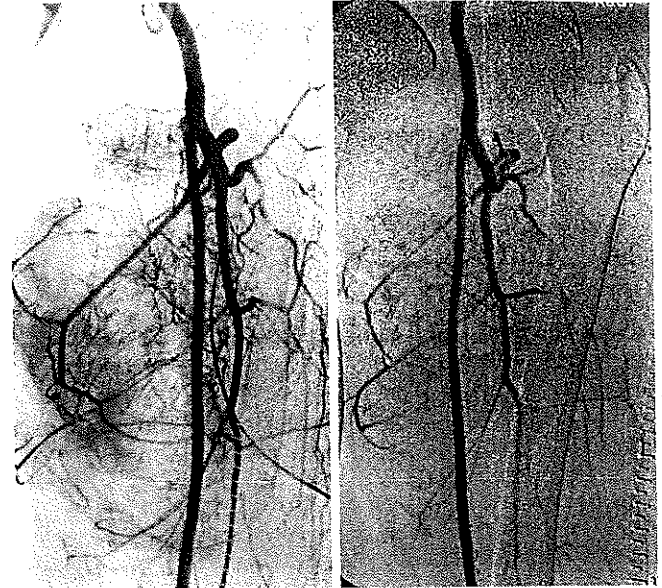
## Ergebnisse

Bei den mit den Indikationen Niereninsuffizienz, Kontrastmittelunverträglichkeit bzw. Hyperthyreose durchgeführten Untersuchungen gelang eine suffiziente Gefäßdarstellung mit Beantwortung der klinischen Fragestellung unter ausschließlicher Verwendung von Kohlendioxid. Das gesamte applizierte Gasvolumen variierte je nach Untersuchungsregion und Anzahl der Serien und betrug durchschnittlich knapp 300 ml, maximal etwa 700 ml. Eine Ausnahme bildete ein Teil der Becken-Bein-Angiographien niereninsuffizienter Patienten ( $22/39 = 56,4\%$ ). Hier wurden zusätzlich 1–2 Serien im distalen Unterschenkelbereich mit jodhaltigem Kontrastmittel durchgeführt, wobei die Kontrastmittelgesamtmenge unter 20 ml betrug.

Generell war die Bildqualität der mit Kohlendioxid erhaltenen Angiogramme so gut, daß eine adäquate Beurteilung der Gefäßstrukturen möglich war (Abb. 4 u. 5). Sie lag etwas unter der Qualität intraarterieller DSA-Studien mit jodhaltigen Kontrastmitteln, oder war – insbesondere im Becken- und proximalen Oberschenkelbereich – annähernd gleich gut. In allen Fällen war jedoch die Qualität der Kohlendioxid-Angiogramme besser als der bekannte Standard der Arteriendarstellung in intravenöser DSA-Technik mit konventionellem Kontrastmittel. In den Anwendungsfällen, in denen ein direkter Vergleich zwischen jodhaltigem Kontrastmittel und Kohlendioxid gegeben war (z.B. Darstellung von Viszeral-, Becken- oder Beinarterien zur Auffindung pathologischer Gefäßshunts oder einer Blutungsquelle), zeigten die Kohlendioxid-Angiogramme ein vergleichsweise erhöhtes Hintergrundrauschen, einen geringeren Kontrast und eine geringere Konturschärfe (Abb. 6).

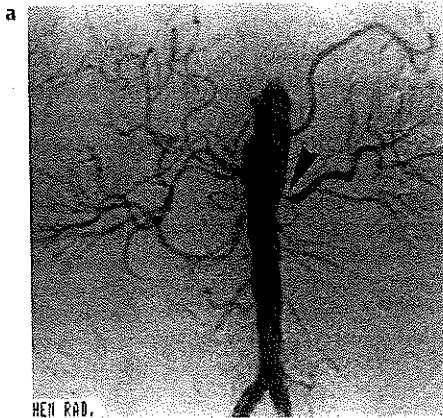


**Abb. 4** Aortenaneurysma, dargestellt mit 80 ml Kohlendioxid über einen 4-F-Pigtailkatheter.



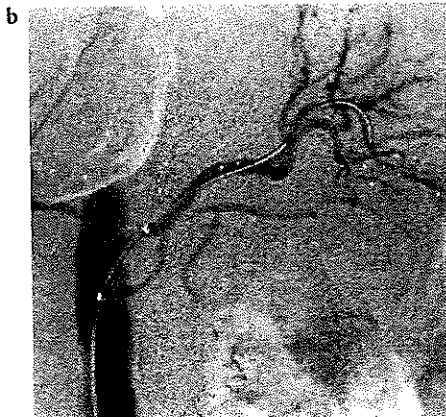
a,b

**Abb. 6** Fibrosarkom des Oberschenkels: Vergleich jodhaltiges Kontrastmittel (a) – Kohlendioxid (b). Während die aus der Arteria profunda femoris stammenden tumorversorgenden Äste auch mit Kohlendioxid auswertbar dargestellt sind, fehlt die "blush"artige Tumoranfärbung. Statt dessen zeigen sich multiple, mit Kohlendioxid kontrastierte „Gefäßseen“.

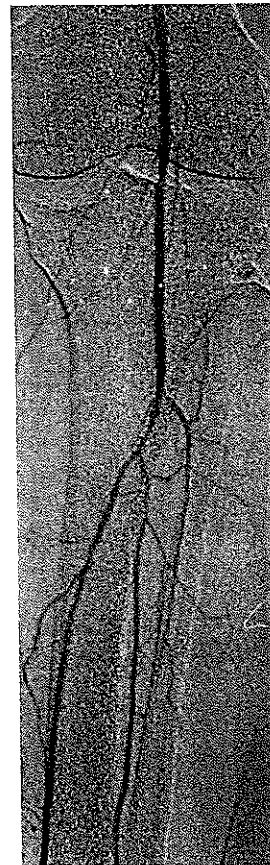


HEN RAD.

**Abb. 5 a u. b**  
(a) Nierenarterienstenose links, dargestellt mit 60 ml Kohlendioxid über einen 5-F-Pigtailkatheter.  
(b) Kontrolle über den Dilatationskatheter bei einliegendem Draht (20 ml Kohlendioxid). Die Überwindung des dünnen Ringspaltes zwischen Katheterinnenlumen und Draht ist für das niedrigvisköse Gas unproblematisch.



b



**Abb. 7** Knie- und Unterschenkelarterien nach Addition der Einzelbilder einer DSA-Serie (CO<sub>2</sub>-Software-Paket für Philips Integris V 3000). Die Untersuchung erfolgte mit Injektion von 40 ml Kohlendioxid über eine femorale Kanüle bei 15°-Keilkissenunterlage der Beine.

Im Bereich der Beckenarterien und der proximalen Oberschenkelarterien gelang es in allen Fällen, eine gute, zusammenhängende Gasfüllung der für die Statuserhebung bei peripherer arterieller Verschlusskrankheit wesentlichen Leitarterien zu erzeugen. Stenosen, Verschlüsse und Kollateralkreisläufe wurden auswertbar dargestellt. Weiter distal im Oberschenkel- und Kniebereich bis einschließlich der Unterschenkeltrifurkation waren Bildqualitätsverbesserungen durch elektronische Einzelbildaddition zu erzielen, die ebenfalls eine zusammenhängende, auswertbare Gefäßdarstellung ergaben (Abb. 7). Die distalen Unterschenkel- und Fußarterien waren in der Regel mit Kohlendioxid nicht suffizient kon-

trastierbar. Sofern die Gefäßverhältnisse hier von entscheidender klinischer Bedeutung waren, wurde (bei den niereninsuffizienten Patienten) mit einer geringen Menge jodhaltigen Kontrastmittels nachangiographiert.

Aufgrund der besonderen physikalischen Eigenschaften des Gases, insbesondere der niedrigen Viskosität, ergaben sich spezielle Applikationstechniken und Darstellungseffekte, die mit jodhaltigem Kontrastmittel nicht erzielbar waren. Unter Nutzung des Gas-Refluxes über die Aortenbifurkation war mit einer unilateralen femoralen Kanülenpunktion eine beidseitige Becken-Bein-Darstellung möglich, wobei auch die kontralaterale Seite in der Regel bis zur Unterschenkeltrifurkation beurteilbar war (Abb. 8). Die Einsparung eines Katheters hatte eine Reduktion des Punktionsdurchmessers zur Folge (18-G bis 22-G).

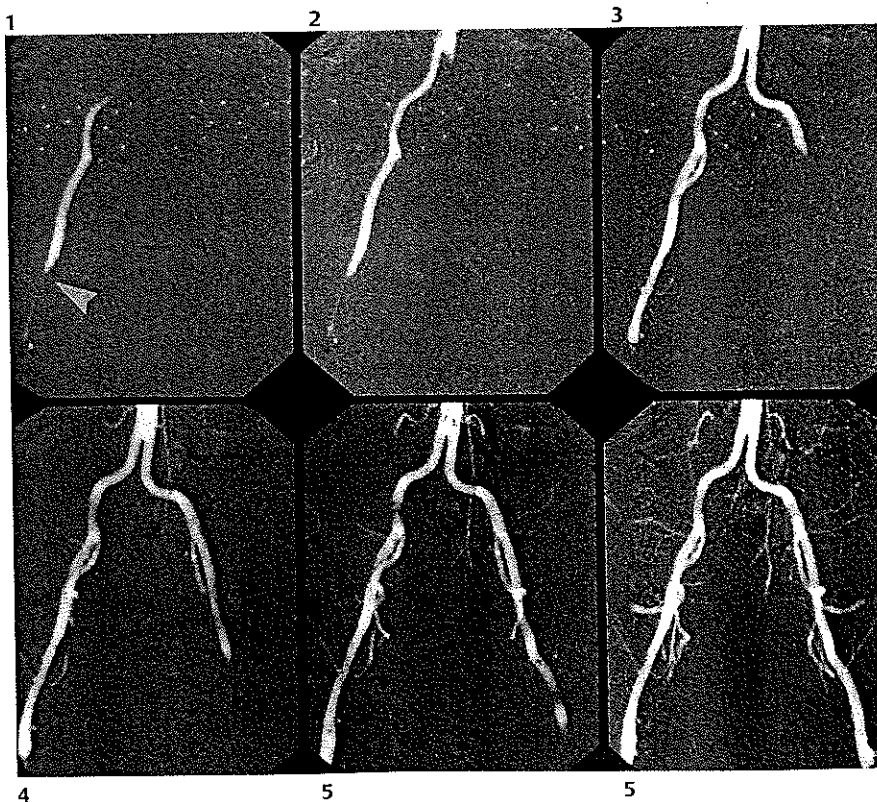
Weitere sich aus der geringen Gas-Viskosität ergebende Eigenschaften bestanden in der bevorzugten Kontrastierung dünnkalibriger Kollateralgefäße und von arteriovenösen Shunts bei Tumoren, Gefäßmalformationen oder nach Trauma. So stellten sich bei Patienten mit Lebermetastasen oder Leberzellkarzinom und Anspritzung der Arteria hepatica oft pathologische arterioportale Shunts dar, mit einer weitgehenden Gasfüllung der Pfortader. Bei Patienten mit Nierenzellkarzinom konnte in zwei Fällen eine fast selektive Kontrastierung der Tumorgefäßversorgung mit früher Füllung der Nierenvene beobachtet werden. In zwei von 5 Fällen konnten innere Blutungen nachgewiesen werden (A.-mesenterica-superior- und A.-iliaca-interna-Äste), wobei sich in einem Fall das Extravasat mit Kohlendioxid deutlicher darstellte als mit jodhaltigem Kontrastmittel.

Als Begleiterscheinungen der Kohlendioxid-Injektion gaben 11 Patienten (5,9%) eine kurzfristige Übelkeit und 14 Patienten (7,6%) Schmerzen in den Beinen an. Die Übelkeit ließ sich in drei Fällen als gering, in 8 Fällen als mäßig einstufen, die Beinschmerzen zur Hälfte der Fälle als gering, zur anderen Hälfte als mäßig. In den Fällen mit Übelkeit lag in der Regel eine Gasfüllung des Truncus coeliacus und der Mesenterialarterien vor, bei den Patienten mit Beinschmerzen Stenosen oder Verschlüsse der Becken- oder Beinarterien. Ein Patient empfand ein Schwindelgefühl, einhergehend mit einer mäßigen Tachykardie. Die Mehrzahl der Patienten ( $^{159}/_{185} = 85,9\%$ ) tolerierte die Kohlendioxid-Injektion ohne Mißempfindungen.

### Diskussion

Kohlendioxid ist eine natürlicherweise im Körper vorkommende, nicht allergene und nicht nephrotoxische Substanz, die chemisch gebunden und physikalisch gelöst im Blut transportiert und über die Lungen abgeatmet wird. Intravaskulär injiziertes Kohlendioxidgas verdrängt bei entsprechender Menge zunächst das Blut. Diese Phase wird zur Bildgebung genutzt. Voraussetzung für die Erzeugung akzeptabler Angiogramme ist die digitale Subtraktion des Maskenbildes und die elektronische Kontrastverstärkung, die den geringen Dichteunterschied zwischen dem gasgefüllten Gefäß und dem umgebenden Weichteilmantel erhöht [6].

In der Auswertung unserer Untersuchungsreihen zeigte sich, daß die Addition mehrerer Bilder einer DSA-Serie im Vergleich zum Einzelbild zu einer weiteren Qualitätsverbesserung der Darstellung führt. Dies gilt insbesondere für kleinkalibrige Gefäße, die relativ weit vom Injektionsort des Gases entfernt liegen (z.B. Unterschenkelarterien). Das Verfahren



**Abb. 8** Katheterlose Kohlendioxid-Refluxangiographie (60 ml über rechts-femorale 18-G-Kanüle [weiße Pfeilspitze im Bild links oben]): Phasen der Gefäßfüllung in halbsekündlichen Abständen. Nach einer Sekunde ist die Aortenbifurkation erreicht, nach drei Sekunden komplette beidseitige Kontrastierung der Becken- und proximalen Femoralarterien (nichtinvertierte Darstellung).

erfordert allerdings eine spezielle, auf ein negatives Kontrastmittel abgestimmte Software.

Intraarteriell appliziertes Kohlendioxid ist nach einigen Sekunden auch unter DSA-Bedingungen nicht mehr nachweisbar, da es im Blut gelöst und gebunden wird. Sehr feine Arterienaufzweigungen stellen sich daher nicht dar. Es gibt keine Kontrastmittelparenchymphase. Sofern keine pathologischen Shunts vorliegen, erscheint das Gas nicht auf der venösen Seite. Intravenös injiziertes Gas passiert das rechte Herz und wird in den Pulmonalarterienaufzweigungen aufgelöst. Die Exkretion über die Lungen soll einem "single-pass"-Effekt entsprechen [7].

Für den Einsatz von Kohlendioxid als Kontrastmittel bestehen jedoch Einschränkungen. Bei koronarer und zerebraler Applikation wurden ernsthafte Komplikationen beobachtet [3,16]. Auf arterieller Seite sollte es deshalb nur in Gefäße unterhalb des Zwerchfells appliziert werden. Eine Ausnahme ist die Darstellung von Armarterien und Hämodialyse-Shunts [4]. Hier sollten jedoch nur kleine Gasmengen gegeben werden, um einen Reflux in die Zerebralarterien zu vermeiden. Auf venöser Seite wird eine Begrenzung des injizierten Volumens auf 50 ml pro Serie empfohlen, um eine Funktionsbeeinträchtigung des rechten Ventrikels zu vermeiden [5,7,10,18]. Wichtig ist der vorherige Ausschluß eines offenen Foramen ovale und von pulmonalen AV-Malformationen. Generell sollte die applizierte Kohlendioxid-Gesamtmenge bei bekannter pulmonaler Vorschädigung begrenzt werden, da der Exkretionsmechanismus beeinträchtigt sein könnte [7].

Unter Berücksichtigung der genannten Vorsichtsmaßnahmen traten in unserem Patientenkollektiv keine Komplikationen auf. Die beobachteten Begleiterscheinungen entsprechen den in der Literatur beschriebenen [7,10,20] und sind hinsichtlich Ausprägung und Häufigkeit (14,1%) vertretbar. Die Schmerzen in den unteren Extremitäten sind möglicherweise durch den kurzzeitigen Ischämieeffekt der Gasfüllung der Gefäße bedingt. Hierzu würde passen, daß dieser sich insbesondere bei Patienten mit einer beeinträchtigten Gefäßversorgung bemerkbar macht. Die Übelkeit ließe sich ebenfalls mit einer vorübergehenden Ischämie im Bereich der Viszeralarterien erklären. Zwaan u. Mitarb. [21] diskutieren hier ein Dumping-Syndrom, ausgelöst durch Gasfüllung der Arteria gastrica sinistra, und berichten über eine erfolgreiche medikamentöse Therapie der Übelkeit mit Atropin i.v. Die Angabe eines Schwindelgefühls, verbunden mit einer Tachykardie, ebenfalls nur ein kurzdauerndes Ereignis bei einem unserer Patienten, muß zurückhaltend bewertet werden, da es sich um einen Einzelfall handelt und ein Zusammenhang mit der Injektion fraglich war.

Die erwähnten Einschränkungen des Einsatzbereichs für Kohlendioxid zeigen, daß konventionelles Kontrastmittel hierdurch nicht ersetzt werden kann. Kohlendioxid kann jedoch als eine wertvolle Alternative dienen, sofern Komplikationen einer jodhaltigen Kontrastmittelgabe zu befürchten sind. Dies betrifft Patienten mit Niereninsuffizienz, Hyperthyreose, bekannter Kontrastmittelunverträglichkeit und Paraproteinämien. Darüber hinaus kann Kohlendioxid als Teilerersatz eingesetzt werden, um die Gesamtmenge an jodhaltigem Kontrastmittel bzw. die Volumenbelastung zu reduzieren. Dies kann bei Patienten mit kardialer Insuffizienz oder z.B.

auch bei komplexeren interventionellen Prozeduren sinnvoll sein. Die neuere Literatur dokumentiert einen expandierenden Einsatz von Kohlendioxid bei Gefäßinterventionen [4,5,7,9,10,12,17,18].

Bei dem von uns zwecks Stuserhebung bei peripherer arterieller Verschlusskrankheit untersuchten Kollektiv niereninsuffizienter Patienten hat es sich bewährt, die Untersuchung bis zur Unterschenkeltrifurkation mit Kohlendioxid durchzuführen und die kritische Region des distalen Unterschenkels mit einer geringen Menge jodhaltigen Kontrastmittels, die eine sofortige Dialyse nicht erforderlich macht, nachzuangiographieren.

Nicht zuletzt sei auf die zunehmende Bedeutung des wirtschaftlichen Aspekts verwiesen, der Kohlendioxid als Teilerersatz für konventionelles Kontrastmittel attraktiv erscheinen läßt [2]. Eine einmal angeschaffte Vorratsflasche reicht für viele hundert Untersuchungen und kostet so viel wie das jodhaltige Kontrastmittel für 2-3 Untersuchungen.

Besondere Eigenschaften und Effekte, die mit konventionellem Kontrastmittel nicht realisierbar sind, resultieren aus der extrem niedrigen Viskosität des Gases (etwa 1/400 der von jodhaltigem Kontrastmittel). Hierzu gehört die besondere Hervorhebung von arteriovenösen Kurzschlüssen und von Extravasaten [9,19], wie unsere Untersuchungen bestätigen. Eine weitere Anwendung liegt in der retrograden Pfortaderdarstellung durch Verschluss-Lebervengraphie [12] bei der TIPS-Anlage. Aufgrund der niedrigen Viskosität können Gefäßdarstellungen mit Kohlendioxid mit extrem dünnkalibrigen Kathetern vorgenommen werden [6]. Die entsprechende Reduktion des Punktionsdurchmessers ist insbesondere für die Verringerung des Nachblutungsrisikos und der Nachbeobachtungszeit bei ambulanten Patienten interessant.

Eine von uns in Verbindung mit dem Injektionssystem entwickelte Technik ist die katheterlose Kohlendioxid-Refluxangiographie [13,15]. Über eine einseitige femorale Kanülenpunktion wird der kontrollierte Einsatz des Gas-Refluxes über die Aortenbifurkation zu einer suffizienten bilateralen Becken-Bein-Darstellung genutzt. Neben der Einsparung des Katheters und des konventionellen Kontrastmittels kann der Punktionsdurchmesser hierdurch bis auf 22-G reduziert werden.

Eine weitere physikalische Eigenschaft von Kohlendioxid kann sich bei der Angiographie nachteilig bemerkbar machen: der Auftrieb des spezifisch leichteren Gases. In größeren Gefäßen kann es zu einem Überschichtungsphänomen kommen, wodurch die dorsal abgehenden Äste schlechter dargestellt werden. Abhilfe kann eine gewisse Kompensation durch die Lagerung des Patienten schaffen. So hat es sich bewährt, bei Becken-Bein-Darstellungen die Beine mit einem Keilkissen zu unterlegen und bei der Nierenarteriendarstellung die entsprechende Körperseite anzuheben.

Ein wesentlicher Nachteil, der bisher einer weiteren Verbreitung der Kohlendioxid-Angiographie entgegengewirkt hat, liegt darin, daß die für eine auswertbare Gefäßdarstellung erforderliche kurzzeitige Verdrängung der Blutsäule durch einen zusammenhängenden Gasbolus mit einer manuellen Spritzeninjektion oft nicht zu erreichen ist. Die Kompressibilität des Gases erschwert eine kontrollierte und reproduzier-

Während zunächst nur eine geringe Gasmenge verläßt, kommt es in der Endphase der manuellen Entleerung zu einer „explosions“artigen Entleerung des komprimierten Gases [7]. Die erhaltenen Angiogramme sind oft qualitativ unzureichend, da der Gasbolus fragmentiert oder den Gefäßquerschnitt nur inkomplett ausfüllt [6, 7, 10, 11]. Abhilfe schaffen Injektoren mit computergesteuerten Gasdosiervorrichtungen, die das Kohlendioxid mit einer möglichst konstanten Flußrate injizieren [1, 7, 11, 14, 21]. Der Nachteil der mittlerweile kommerziell verfügbaren Systeme liegt jedoch in der relativ komplexen Handhabung und den nicht unbeträchtlichen Anschaffungskosten.

Als alternative „low-tech“-Lösung haben wir den „Spray-Mini-Injektor“ [1, 13, 14] vorgestellt. Aus arzneimittelrechtlichen Gründen war ein solches Konzept, das einen im Einmal-Set enthaltenen kohlendioxidgefüllten Behälter beinhaltet, jedoch nicht durchsetzbar. Der Behälter wurde daher durch eine handelsübliche Kohlendioxid-Vorratsflasche mit Druckminderer ersetzt, wobei die Gasdosier- und Applikationsvorrichtung im Prinzip beibehalten wurde. Während die Gasflußcharakteristik in der alten Konstellation aus einem relativ steilen initialen Anstieg und einem exponentiellen Abfall bestand, erlaubte die Vergrößerung der Dosierkammer auf maximal 100 ml verbunden mit der Senkung des Betriebsdruckes auf 1,3 bar eine bessere Annäherung an konstante Flußverhältnisse. Selbst der Vergleich der Vorläuferversion mit einem computergesteuerten Injektor mit nahezu exakt konstant geregelter Flußrate zeigte keinen erkennbaren Unterschied in der Bildqualität [14]. Die hochgenaue und entsprechend aufwendige Steuerung der Flußrate erweist sich damit als nicht unbedingt erforderlich.

Das Gasdosiersystem in der verbesserten Dimensionierung hat sich wie die Vorläuferversion als einfach handhabbar und als sicher gegen Fehlbedienung erwiesen. Das Problem der Luftkontamination ist gelöst. Die Injektionen sind standardisiert und reproduzierbar. Nach Anschluß der Zuleitung an das Druckreduzierventil der Gasflasche und Spülung des Systems sind sonstige Vorbereitungen oder zusätzliches Bedienpersonal nicht erforderlich.

### Schlußfolgerungen

Kohlendioxid eignet sich als Alternativ-Kontrastmittel zur Gefäßdarstellung bei Patienten mit Niereninsuffizienz, Hypertyreose, bekannter Kontrastmittelunverträglichkeit und Paraproteinämien oder als Teilersatz für jodhaltiges Kontrastmittel z. B. zur Reduzierung der Volumenbelastung bei kardialer Insuffizienz, bei komplexen Interventionen und aufgrund seines deutlichen ökonomischen Vorteils.

Das vorgestellte Gasdosier- und Injektionssystem für die Kohlendioxid-Angiographie unter DSA-Bedingungen hat sich bei einfacher und sicherer Handhabung als preiswerte Alternative zu der problembehafteten Handinjektion erwiesen. Es erlaubt eine adäquat beurteilbare Darstellung der Aorta abdominalis, der Viszeral-, Becken- und Beinarterien. Die Technik der katheterlosen Refluxangiographie ermöglicht bei einseitiger femoraler Kanülenpunktion eine beidseitige Becken-Bein-Darstellung bis zur Unterschenkeltrifurkation. Eine elektronische Einzelbildaddition führt zur Bildqualitätsverbesserung im distalen Oberschenkel-, Knie- und Unterschenkelbereich.

### Literatur

- Alzen, G., T. Schmitz-Rode: CO<sub>2</sub>-Angiographie. In: Günther, R. W. (Hrsg.): Jahrbuch der Radiologie. Biermann, Zülpich (1995) 113–122
- Caridi, J. G., I. F. Hawkins: CO<sub>2</sub> contrast: the economical choice for the 21<sup>st</sup> century. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 18 (1995) S100
- Coffey, R., R. G. Quisling, J. P. Mickle, F. Hawkins, W. B. Ballinger: The cerebrovascular effects of intraarterial CO<sub>2</sub> in quantities required for diagnostic imaging. *Radiology* 151 (1984) 405–410
- Ehrman, K. O., T. E. Taber, G. E. Gaylord, P. B. Brown, J. P. Hage: Comparison of diagnostic accuracy with carbon dioxide versus iodinated contrast material in the imaging of hemodialysis access fistulas. *J. Vasc. Intervent. Radiol.* 5 (1994) 771–775
- Hahn, S. T., T. Pfammatter, K. J. Cho: Carbon dioxide gas as a venous contrast agent to guide upper-arm insertion of central venous catheters. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 18 (1995) 146–149
- Hawkins, I. F.: Carbon dioxide digital subtraction angiography. *Amer. J. Roentgenol.* 139 (1982) 19–24
- Hawkins, I. F., S. R. Kerns: Carbon dioxide digital subtraction angiography. In: Cope, C. (Hrsg.): *Current techniques in interventional radiology.* Current Medicine, Philadelphia (1994) 11.1–11.17
- Hess, H.: Digitale Subtraktionsangiographie mit Kohlendioxid: eine Alternative zur Extremitätenarteriographie mit jodhaltigen Kontrastmitteln. *Fortschr. Röntgenstr.* 153 (1990) 233–238
- Hiramatsu, K., S. Hashimoto, T. Takeda, K. Ido, Y. Yuasa, S. Kobayashi, et al.: Carbon dioxide intra-arterial DSA in detecting minute arterial hemorrhage. 4<sup>th</sup> International Symposium of Interventional Radiology & New Vascular Imaging, May 10–13, 1992, Kumamoto, Japan
- Kerns, S. R., I. F. Hawkins: Carbon dioxide digital subtraction angiography: expanding applications and technical evolution. *Amer. J. Roentgenol.* 164 (1995) 735–741
- Krasny, R., J. H. Besgen, H. Birkenkamp, K. C. Klose, R. W. Günther: Arterielle DSA mit CO<sub>2</sub> als Kontrastmittel: Verbesserung der Bildqualität mit einem neuartigen Gasinjektor im Tierexperiment. *Fortschr. Röntgenstr.* 152 (1990) 425–429
- Rees, C. R., R. L. Niblett, S. P. Lee, N. G. Diamond, J. S. Crippen: Use of carbon dioxide as a contrast medium for transjugular intrahepatic portosystemic shunt procedures. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 5 (1994) 383–386
- Schmitz-Rode, T., G. Alzen, R. W. Günther: Angiographie aus der Spraydose. Neue Technik der Arteriendarstellung mit CO<sub>2</sub> unter DSA-Bedingungen. *Fortschr. Röntgenstr.* 159 (1993) 97–99
- Schmitz-Rode, T., G. Alzen, R. W. Günther, H. Pott: CO<sub>2</sub> spray mini-injector for digital subtraction angiography versus PC-controlled injection system: experiments in dogs. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 16 (1993) 297–302
- Schmitz-Rode, T., G. Alzen, D. Vorwerk, R. W. Günther: CO<sub>2</sub>-DSA with spray can injector: clinical experience in 150 patients. *Radiology* 193 (1994) 322
- Smits, P. C., M. J. Post, E. Velema, R. Rienks, C. Borst: Percutaneous coronary and peripheral angiography with saline solution and carbone dioxide gas in porcine and canine arteries. *Amer. Heart J.* 122 (1991) 1315–1322
- Strunk, H., H. Schild, M. Mortasawi: Arteriell-interventionelle Eingriffe unter Benutzung von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) als Kontrastmittel. *Fortschr. Röntgenstr.* 157 (1992) 599–600
- Sullivan, K. L., J. Bonn, M. J. Shapiro, G. A. Gardiner: Venography with carbon dioxide as a contrast agent. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 18 (1995) 141–145

- <sup>19</sup> Takeda, T., K. Ido, G. Nishimura, S. Hashimoto, E. Kyo, S. Okawa, S. Nakatsuka, H. Miura, S. Kobayashi, T. Tanaka, K. Hiramatsu: Intraarterial digital subtraction angiography with carbon dioxide: Superior detectability of arteriovenous shunting. *Cardiovasc. Intervent. Radiol.* 11 (1988) 101 - 107
- <sup>20</sup> Weaver, F. A., M. J. Pentecost, A. E. Yellin, S. Davis, E. Finck, G. Teitelbaum: Clinical applications of carbon dioxide/digital subtraction arteriography. *J. Vasc. Surg.* 13 (1991) 266 - 273
- <sup>21</sup> Zwaan, M., W. Zwaan, C. Kagel, D. Kummer-Kloess, S. Matthies-Zwaan, R.-M. Schütz, H.-D. Weiss: Kohlendioxid als alternatives Kontrastmittel für die periphere Angiographie. *Fortschr. Röntgenstr.* 164 (1996) 445 - 448

Priv.-Doz. Dr. med. Dipl.-Ing. T. Schmitz-Rode

Klinik für Radiologische Diagnostik  
Universitätsklinikum der RWTH Aachen  
Pauwelsstraße 30  
D-52057 Aachen