

von Olivier Pellerin MD. MSc. Interventioneller Radiologe · Hôpital Européen Georges Pompidou · Paris



EINLEITUNG

Bei ausreichend hoher Qualität der Injektion des jodhaltigen Kontrastmittels ist im Rahmen interventionell-radiologischer Eingriffe eine Feindiagnostik von Läsionen möglich:

- Quantifizierung der Größe einer Stenose
- Quantifizierung der Breite des Halses und der Größe eines Aneurysmas
- Identifizierung der versorgenden Gefäße eines Tumors

Bei den Injektoren für jodhaltige Kontrastmittel, die interventionell-radiologischen Zentren bisher zur Verfügung standen, handelte es sich um Pumpen, mit denen Kontrastmittel lediglich in reiner Form und mit fester Förderrate injiziert werden konnte. Der Injektor **Accutron HP-D** verfügt über zwei Spritzenkolben, verbunden mit einem Y-Schlauchsystem, das an eine Mischeinheit angeschlossen ist. Mit dem Injektor **Accutron HP-D** können die folgenden Arten von Injektionen vorgenommen werden:

- Klassische Injektion (reines Kontrastmittel)
- Phaseninjektion (Wechsel zwischen Kontrastmittel) und physiologischer Kochsalzlösung)
- Verdünnte Injektion (homogene Verdünnung des Kontrastmittels) durch Mischung mit physiologischer Kochsalzlösung)
- Komplexe Injektion (verdünnt und in Phasen)

Diese Optionen richten sich speziell an moderne interventionell-radiologische Operationsräume, die über Flachdetektoren verfügen. Durch Flachdetektoren konnte die Bildqualität erheblich verbessert werden. Sie ermöglichen die Erstellung qualitativ hochwertiger angiographischer Aufnahmen sowie die Erstellung CT-ähnlicher Aufnahmen (C-Bogen-CBCT – C-arm Cone Beam Computed Tomography). Diese Aufnahmen werden durch schnelle Rotation (4 bis 8 Sekunden) des Bogens um den Patienten gewonnen. Die C-Bogen-CBCT hat erhebliche Veränderungen für die Operationstechniken interventioneller Radiologen mit sich gebracht. Die ausgezeichnete Signalauflösung (5 bis 10 HU) der C-Bogen-CBCT in Kombination mit der intraarteriellen Injektion führt dazu, dass geringere Kontrastmittel-Konzentrationen als bei der zweidimensionalen Angiographie benötigt werden. Im Laufe eines interventionell-radiologischen Eingriffs wechselt der Operateur ständig zwischen dem Angio-Modus und dem C-Bogen-CBCT-Modus. Bei jeder Anwendung ist ad hoc eine Verringerung der Kontrastmittel-Konzentration erforderlich. Die Injektion des jodhaltigen Kontrastmittels spielt bei solchen interventionell-radiologischen Eingriffen deshalb eine entscheidende Rolle, und die Möglichkeit zur Anpassung der Verdünnung des injizierten Kontrastmittels bedeutet einen erheblichen Mehrwert.

Ziel dieser Studie ist es, die Relevanz und die Qualität von Injektionen jodhaltiger Kontrastmittel, die mithilfe des Kontrastmittelinjektors **Accutron HP-D** oder eines klassischen Einkolben-Kontrastmittelinjektors eines anderen Herstellers bei verschiedenen interventionell-radiologischen Eingriffen injiziert wurden, zu bewerten.

STUDIE

I. Transarterielle Chemoembolisation (TACE)

Die transarterielle Chemoembolisation ist ein Verfahren zur Therapie primärer und sekundärer Lebertumoren. Die Behandlung beruht auf einer präzisen Applikation von Embolisaten in Kombination mit Chemotherapeutika. Die Darstellung der Tumoren und ihrer Größe sowie die Identifizierung der Gefäße, über die sie versorgt werden, ist dabei von entscheidender Bedeutung. Ohne sie ist eine erfolgreiche Intervention nicht möglich. Darüber hinaus lässt sich durch die Identifizierung der nichthepatischen Kollateralarterien (Arteria gastrica dextra und Arteria cystica) das Komplikationsrisiko senken, da so die adäquate Positionierung des Katheters erleichtert wird. Die einleitende Angiographie, die die mittels C-Bogen-CBCT gewonnenen Informationen stützt, ermöglicht eine präzisere Durchführung der Maßnahme, sofern eine optimale Injektion des Kontrastmittels gewährleistet werden kann.

A Mit dem Injektor **Accutron HP-D** wurden sechs TACE-Behandlungen im Angio-Modus durchgeführt und mit sechs mit einem klassischen Einkolben-Injektor eines anderen Herstellers durchgeführten TACE-Behandlungen verglichen. Für die Angiographie wurde ein vorgeformter Katheter (Terumo, Cook) mit einer Größe von 5 Ch verwendet.

> Angiographie-Akquisitionsprotokoll:

- Modus reines Kontrastmittel:

Selektive Injektion in den Truncus coeliacus und die Arteria mesenterica superior: 20 ml Kontrastmittel, 7 ml/s, 900 psi.

Im klassischen Angio-Modus beobachteten die Operateure keine Unterschiede in der Bildqualität. Gute Darstellung der Haupt- und Nebenzweige, portalvenöser Rückstrom sichtbar, ausreichende Qualität.

B Sechs C-Bogen-CBCT-Anwendungsfälle mit „Perfused Blood Volume“-/PBV-Akquisitionsprotokollen (Beurteilung des Blutvolumens in mg Blut je 100 mg Gewebe):

Der PBV-Modus wird eingesetzt, um das „Blood volume“ der Leber und der Tumoren zu messen (PBV Siemens). Nach zwei aufeinanderfolgenden Akquisitionen kann mit dieser Software anhand farbiger Parameterbilder das „Blood volume“ der Tumoren bestimmt werden. Das Werkzeug ermöglicht eine Prognose im Hinblick auf das Ansprechen des Tumors nach der TACE. Nach einer ersten Akquisition ohne Kontrastmittel folgt eine zweite Akquisition mit Kontrastmittel unter Anwendung der folgenden Parameter:

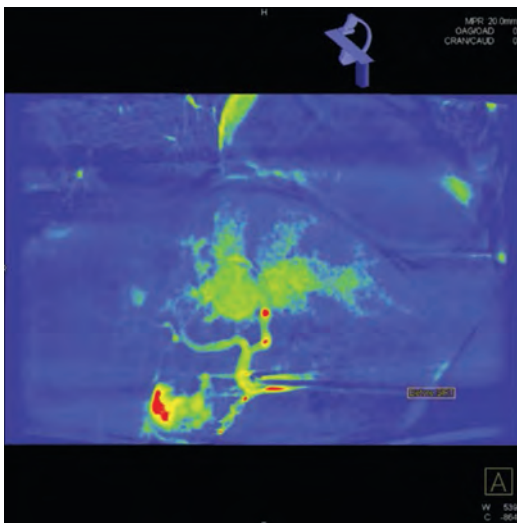
> PBV-Akquisitionsprotokoll:

Superselektive Injektion in die Arteria hepatica dextra und die Arteria hepatica sinistra mithilfe eines Mikrokatheters mit einer Größe von 2,7 Ch (Terumo Progret); zwei fünfsekündige Rotationen des C-Bogen-CBCT-Systems um den Patienten

- Modus Verdünnung und Flush:

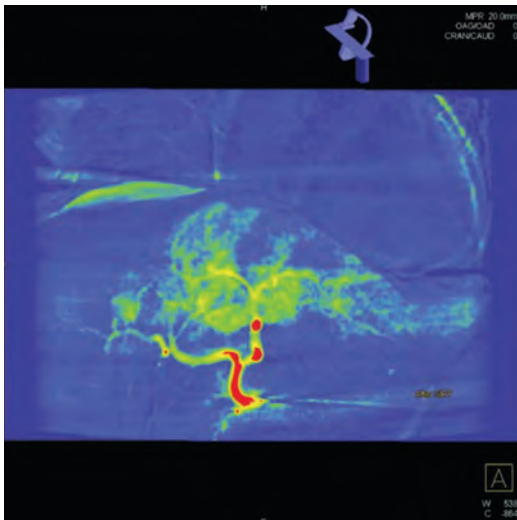
Phase 1: Iomeprol 350 in einer Konzentration von 28 %; (12 ml Kontrastmittel, 32 ml NaCl), Gesamtinjektionsvolumen 44 ml, 3 ml/s, 300 psi

Phase 2: Flush mit 5 ml NaCl, 3 ml/s, 300 psi



CBCT-Bildgebung zur Beurteilung des „Blood volume“ der Leber und der Tumoren bei einem Patienten, der zur Radioembolisation eines hepatozellulären Karzinoms (HCC) überwiesen wurde. Die Injektion erfolgte im verdünnten Modus. Anhand der Parameterbilder kann die Gewebepfusion des Zielorgans objektiv beurteilt werden.

Es wurden keinerlei Unterschiede in der Bildqualität festgestellt. Die Operateure konnten das „Blood volume“ der Leber und der Tumoren problemlos messen. Es wurde eine signifikante Reduktion der Artefakte beobachtet.



CBCT-Bildgebung nach Durchführung einer Radioembolisation zur Beurteilung des „Blood volume“ der Leber und der Tumoren bei einem Patienten, der zur Radioembolisation eines HCC überwiesen wurde. Die Injektion erfolgte im verdünnten Modus. Anhand der Parameterbilder kann die Gewebepfusion des Zielorgans objektiv beurteilt werden. Hier ist eine signifikante Reduktion des „Blood volume“ im Tumor und eine Steigerung des „Blood volume“ im Gewebe des linken Leberlappens zu beobachten. Dies belegt einerseits die erfolgreiche Embolisation des Tumors und andererseits den „Buffer effect“ der gesunden Leber.

Scanverzögerung: 12 Sek.

● Sechs C-Bogen-CBCT-Anwendungsfälle mit „Dual Phase“-Akquisitionsprotokoll (Philips):

Der von Philips entwickelte „Dual Phase“-Ansatz ermöglicht anhand zwei aufeinanderfolgender Rotationen des C-Bogens eine Kartografie der Gefäße der Tumoren sowie deren Identifizierung. Die erste Rotation wird unter Injektion reinen Kontrastmittels unmittelbar gefolgt von einer Injektion physiologischer Kochsalzlösung durchgeführt, um die früharterielle Phase zu untersuchen (Gefäßnetz). Siebzehn Sekunden nach der ersten Rotation wird eine zweite

Rotation des C-Bogens durchgeführt, um die Kontrastmittelanreicherung in den Tumoren zu beobachten (Lokalisation, vaskuläres Erscheinungsbild usw.).

> „Dual Phase“-Akquisitionsprotokoll:

Superselektive Injektion in die Arteria hepatica communis mithilfe eines Mikrokatheters mit einer Größe von 2,7 Ch (Terumo Progreat).

Zwei fünfsekündige Rotationen des C-Bogen-CBCT-Systems um das Ziel.

• Modus Verdünnung und Flush:

Phase 1: Iomeprol 350 in einer Konzentration von 50 %; Gesamtinjektionsvolumen 15 ml, 8 ml Kontrastmittel, 8 ml NaCl, 3 ml/s, 300 psi, Scanverzögerung 0

Phase 2: Flush mit 15 ml NaCl, 3 ml/s, 300 psi

Es wurde eine signifikante Verbesserung der Bildqualität beobachtet. Diese ist auf die Verringerung der Kontrastmittel-Konzentration in der ersten Akquisitionsphase zurückzuführen (deutliche Reduktion von Artefakten im Zusammenhang mit der Dichte des Kontrastmittels). Darüber hinaus gewährleistet der am Ende der Injektion verabreichte Nachspülbolus mit physiologischer Kochsalzlösung eine bessere Tumordarstellung, da er einerseits Artefakte reduziert und andererseits der Persistenz des Kontrastmittels in den Arterien entgegenwirkt.

II. Phlebographien

Mit dem *Accutron HP-D* wurden im gepulsten Modus vier Phlebographien der oberen/unteren Extremitäten (Venenkartographie vor Anlage eines Venenkatheters als Zugang zur Hämodialyse) und der zentralen Venenstämmen durchgeführt.

Obere Extremitäten:

• Verdünnter und gepulster Modus:

Phase 1: Iodixanol 320 in einer Konzentration von 50 %; Gesamtinjektionsvolumen 30 ml, 15 ml Kontrastmittel, 15 ml NaCl, 4 ml/s, 300 psi, Scanverzögerung 0

Phase 2: 30 ml NaCl, 3 ml/s, 300 psi

Untere Extremitäten:

• Gepulster Modus:

Phase 1: Gesamtinjektionsvolumen 40 ml, 40 ml Kontrastmittel (Iodixanol 320), 4 ml/s, 300 psi, Scanverzögerung 0

Phase 2: 40 ml NaCl, 4 ml/s, 300 psi

Zentrale Venenstämmen:

• Gepulster Modus:

Phase 1: Gesamtinjektionsvolumen 20 ml, 20 ml Kontrastmittel (Iodixanol 320), 4 ml/s, 300 psi, Scanverzögerung 0

Phase 2: 20 ml NaCl, 4 ml/s, 300 psi

Im verdünnten und im gepulsten Modus lassen sich Aufnahmen höherer Qualität erzielen, als dies bei der klassischen Injektion der Fall ist. Darüber hinaus wird auf diese Weise verglichen mit einem klassischen Injektor eine Verringerung des Kontrastmittel-Volumens um 50 bis 60 % erreicht, was einen wesentlichen Vorteil für die Patienten darstellt.

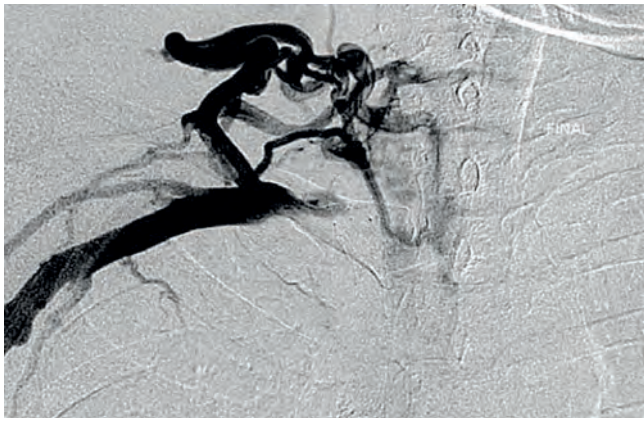


Abbildung 1 – Phlebographie der tiefen Venenstämme im gepulsten Modus. Vollständige Reokklusion der Vena cava superior (VCS) bei einem Patienten mit Tumorstenose.

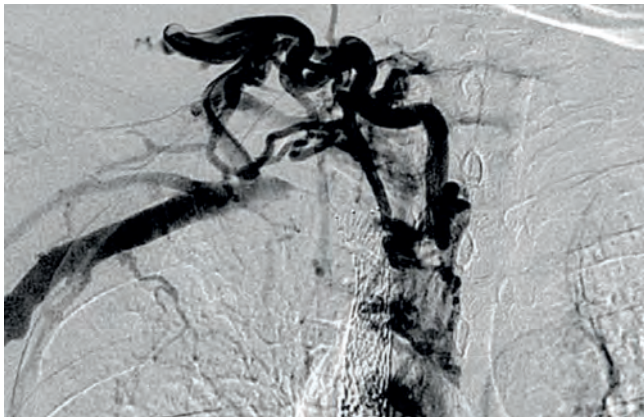


Abbildung 2 – Phlebographie der tiefen Venenstämme im gepulsten Modus, Spätaufnahme. Vollständige Reokklusion der VCS bei einem Patienten mit Tumorstenose.

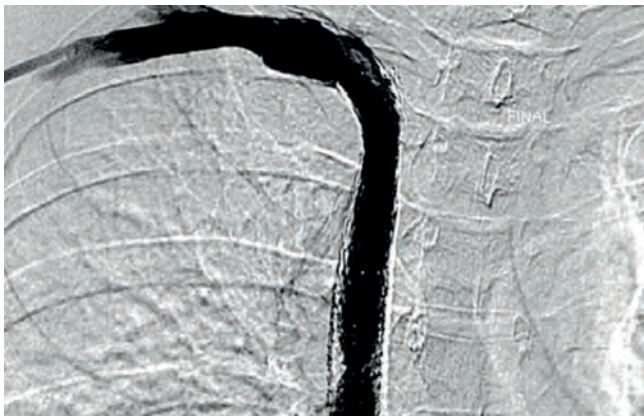


Abbildung 3 – Phlebographie der tiefen Venenstämme im gepulsten Modus. Nach Rekanalisation und Angioplastie der VCS.

III. Diskussion und Schlussfolgerungen

A Wesentliche Vorteile

Im Rahmen eines Eingriffs stehen verschiedene Injektionsmodi zur Verfügung:

- rein
- verdünnt
- gepulst
- Kombination der drei vorstehenden Modi

Im Laufe eines interventionell-radiologischen Eingriffs ist ein Wechsel zwischen dem Angio-Modus und dem C-Bogen-CBCT-Modus erforderlich, um die Interventionen besser steuern und ihre Wirksamkeit messen zu können. Die Möglichkeit, die Konzentration je nach Injektionsprotokoll anpassen zu können, ohne dazu den Spritzenkolben wechseln zu müssen, bedeutet eine Zeitersparnis und kann auch zu Einsparungen bei den Verbrauchsmaterialien führen. Der Injektor **Accutron HP-D** ermöglicht eine Optimierung der Injektionsparameter und ist auf die verfahrensspezifischen Anforderungen abgestimmt.

Reduktion von Bildartefakten bei der C-Bogen-CBCT

Durch die Verwendung verdünnten Kontrastmittels lassen sich Artefakte auf den Aufnahmen reduzieren.

Einfacher und intuitiver Einstellungsmodus

Die Wahl der Kontrastmittelkonzentration (rein oder verdünnt) wurde einfach als ein weiterer Injektionsparameter integriert, der direkt auf dem Gerät oder über die Fernbedienung eingestellt werden kann.

B Einschränkungen

Dauer der Systemvorbereitung:

Das Einsetzen der Injektionszylinder durch den Radiologieassistenten dauert länger als bei Einkolbeninjektoren. Dies ist auf die notwendige Vorbereitung des **Accutron HP-D** und insbesondere die vollständige Entlüftung der beiden Spritzen zurückzuführen. Die Verdünnung des Kontrastmittels mit physiologischer Kochsalzlösung erfolgt dann jedoch unmittelbar während der Injektion automatisch im Schlauchsystem, ohne dass ein weiteres Eingreifen erforderlich ist. Bei einem Einkolbeninjektor muss das Kontrastmittel dagegen vor jeder verdünnten Injektion von Hand mit der physiologischen Kochsalzlösung verdünnt werden. Darüber hinaus bieten moderne Einkolbeninjektoren nicht die Möglichkeit, gepulste Injektionen vorzunehmen.

Starres Schlauchsystem

Das Y-Schlauchsystem des **Accutron HP-D** ist starrer als die verstärkten Schlauchsysteme, dafür jedoch transparenter, was die Erkennung von Luftteinschlüssen während der Entlüftungsphase erleichtert.

Berücksichtigung des Totvolumens im gepulsten Modus bei Injektion 100 % reinen Kontrastmittels

Das Totvolumen des Injektionsschlauchs (ca. 5 ml) und die notwendige Vorbefüllung mit reinem Kontrastmittel ziehen bei Volumen von weniger als 8 ml Veränderungen der Injektionsparameter nach sich. Dieser Parameter muss in das Injektionsprotokoll einbezogen werden. Bei Injektionen von mehr als 8 ml ist unter Berücksichtigung des Totvolumens jedoch eine Verringerung der injizierten Kontrastmittel-Volumen möglich, wenn der gepulste Modus verwendet wird.