

2. Material und Methoden

Es wurden im Jahre 1999 bis 2000 Dosismessungen bei insgesamt 30 Interventionen von 30 verschiedenen Patienten mit einer Leberzirrhose mit therapierefraktärem Aszites oder rezidivierender endoskopisch auf Dauer nicht beherrschbarer Varizenblutung durchgeführt. Alle Interventionen wurden an einer DSA-Anlage (Multidiagnost, Fa. Philips, Eindhoven, Niederlande) durchgeführt.

2.1. Technik der TIPS-Anlage

Als Vorbereitung zur TIPS-Anlage wurde sonographisch die Lage der Lebervenen zur Pfortader und den Pfortaderästen untersucht und festgelegt, welche Lebervene für die transvenöse Punktion verwendet werden kann, um am einfachsten zu einem intrahepatischen Ast der Pfortader zu gelangen.

Der Patient befand sich in Rückenlage. Der Interventionalist stand am Kopf des Patienten bzw. an der kurzen Seite des Angiographie-Tisches. Die Assistentin, eine Krankenschwester, stand rechts leicht hinter dem Interventionalisten und reichte diesem die gewünschten Instrumente.

In Lokalanästhesie wurde unter sonographischer Kontrolle die rechte oder linke V. jugularis interna mit einer Hohlnadel punktiert. Bei Aspiration von venösem Blut wurde ein J-Führungsdraht (Standard J-Tip, Fa. Cordis, Miami, USA) eingeführt und unter Durchleuchtungskontrolle in die Vena cava superior platziert. In Seldinger-Technik wurde die Punktionsstelle an der Haut und der Vene nacheinander mit einem 4 French Dilatator, anschließend mit 6, 8 und 10 French(F)-Dilatator (Fa. Cook, Bjaeverskov, Dänemark) gedehnt. Dann wurde eine 10 cm lange 10 F-Schleuse (Fa. Cordis, Miami, USA) eingeführt, die dann mit physiologischer Kochsalzlösung langsam und kontinuierlich gespült wurde. Der J-Führungsdraht wurde in den rechten Vorhof weitergeschoben. Über den Draht wurde ein 9 F-Cholangiographie-Katheter (Fa. Cook) in den rechten Vorhof eingeführt. Nach Entfernen des Drahtes wurde der Katheter an einen mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllten Schlauch angeschlossen. Die Höhe der Wassersäule über

dem Herzen wurde mit einem Lineal möglichst genau abgelesen und entsprach dem zentralvenösen Druck (ZVD) in cm vor der TIPS-Anlage.

Ein weicher an der Spitze gebogener hydrophiler 0,035 Inch-Führungsdraht (Fa. Terumo, Tokyo, Japan) wurde in den liegenden Cholangiographie-Katheter eingeführt. Da der Katheter an der Spitze gebogen ist, konnte der Draht, der ebenfalls an der Spitze gebogen ist, gut steuerbar in die Vena cava inferior und eine Lebervene des rechten Leberlappens eingeführt werden.

Nach Sondierung der Lebervene wurde der Cholangiographie-Katheter ebenfalls in die Lebervene eingeführt. Der Terumo-Führungsdraht wurde durch einen steiferen Amplatzdraht (Fa. Boston, Miami, USA) eingewechselt. Der Amplatzdraht ist stark echogen und läßt sich sonographisch als eine sehr echoreiche Struktur leicht erkennen.

Die Leber wurde von rechts mit Schallkopfposition in der mittleren Axillarlinie geschallt. Der Sonographieur stand links vom Patienten und streckte den linken Arm an die rechte Patientenseite oder er stand rechts vom Patienten und sonographierte mit der rechten Hand. Hierdurch konnte beurteilt werden, ob die richtige Lebervene sondiert wurde, aus der eine Punktion eines Pfortadergefäßes erfolgen konnte. Falls die sondierte Lebervene nicht die richtige war, wurde der Amplatzdraht durch den gebogenen Terumo-Führungsdraht erneut eingewechselt und versucht, eine andere Lebervene zu sondieren.

Nach Sondierung der richtigen Lebervene wird die Punktionsstelle der Lebervene sonographisch festgelegt, indem der Draht in der Lebervene so platziert wurde, daß die Drahtspitze sich in der gleichen sagittalen Ebene wie das zu punktierende Pfortadergefäß lag. Der Draht wurde durchleuchtet und der Interventionalist merkte sich die Lage der Drahtspitze. Dann wurde der Draht tief in die Lebervene eingeführt, und über den Draht wurde der Cholangiographie-Katheter in die Lebervene platziert. Eine modifizierte Ross-Nadel mit einem Außendurchmesser von 1,85 mm (Fa. Cook) wurde über den Draht im Cholangiographie-Katheter unter Durchleuchtungskontrolle in die Lebervene eingeführt, so daß die Spitze der Nadel die zuvor festgelegte Punktionsstelle an der Lebervene erreichte. Die Einführung der an der Spitze geschliffenen Nadel in den Katheter erfolgte

langsam und vorsichtig und folgte dem Weg des geringsten Widerstandes, um eine Perforation des Katheters und Verletzungen der Gefäße und des rechten Vorhofes zu vermeiden. Der Draht wurde dann entfernt. Durch Drehung der Nadel gegen den Uhrzeigersinn zeigte die Nadel in eine kaudale Punktionsrichtung. Die Durchleuchtung wurde gestoppt. Die intrahepatische Punktion durch die Venenwand und das Parenchym ins Pfortadergefäß erfolgte unter sonographischer Kontrolle. Die Punktionsnadel ist sehr echogen und weist im Sonogramm Wiederholungsartefakte auf. Falls die Spitze der Nadel sonographisch nicht genau zu lokalisieren war, wurde neben der sonographischen Steuerung gleichzeitig auch durchleuchtet, um damit die Sicherheit zu erhöhen, dass die Nadel nicht zu weit nach kaudal über die Leberkapsel hinaus geschoben wurde.

Die Punktion eines perfundierten Pfortadergefäßes erkannte der Punkteur außer am Ultraschall-Bild auch an der Aspiration von portalvenösem nicht spritzendem und im Vergleich zu venösem Blut hellerem Blut. Bei Aspiration von Blut wurde nichtionisches Kontrastmittel (Ultravist 300, Fa. Schering, Berlin) injiziert und versucht, die Pfortader retrograd zu kontrastieren. Es wurde dann versucht, die Pfortader mit dem Draht zu sondieren.

Falls der Draht immer wieder nach lateral in die Leberperipherie abwich, wurde die Nadel zunächst herausgezogen und über den Draht ein blauer 4F-Cobra-Katheter (Fa. Cordis) in das Pfortadergefäß und in die Leberperipherie eingeführt. Nach Entfernung des Drahtes wurde der Katheter sehr langsam und unter vorsichtiger Kontrastmittelinjektion zurückgezogen. Bei Erreichen des Gefäßes an der Punktionsstelle wurde der Draht wieder eingeführt und über den gebogenen Cobra-Katheter sowie mit leichter Drehung des Katheters in Richtung der Pfortader nach medial gerichtet.

Der Draht wurde weitergeschoben, solange dieser dem mutmaßlichen Verlauf der Pfortader und der V. lienalis oder mesenterica superior folgte und leicht vorzuschieben war. Der Cobra-Katheter wurde dann über den Draht vorgeschoben. Nach Entfernung des Drahtes wurde zur Lokalisation des Cobra-Katheters und der Verifizierung der intravaskulären Lage Kontrastmittel injiziert. Bei intravaskulärer Lage in der V. mesenterica superior oder inferior oder in der V. lienalis wurde der Cobra-Katheter durch einen 4F-Pigtail-Katheter eingewechselt. Mit diesem erfolgte eine Portographie

in DSA-Technik sowie eine Messung des portalvenösen Drucks wie oben zur Messung des ZVD beschrieben. Es wurden Portographien über die V. lienalis, V. mesenterica superior und inferior durchgeführt, um mögliche Thrombosen im portalvenösen System sowie Kollateralwege und Varizen darzustellen. Wenn der Pigtail-Katheter sich nicht ohne weiteres über den transparenchymalen Punktionsstrakt und die Punktionsstelle des Pfortadergefäßes schieben ließ, dann wurde die Punktionsnadel vorsichtig über den Draht eingeführt und der transparenchymale Trakt und die Punktionsstelle noch mal passiert, um den Weg für den Katheter zu ebnen. Bei liegendem Amplatz-Draht wurde die 10 cm lange Schleuse durch eine 41 cm lange Schleuse ebenfalls der Stärke 10 F (Fa. Cook) eingewechselt. Diese wurde in das punktierte Pfortadergefäß platziert.

Ein Ballon-Katheter mit einem 4 cm langen und 10 mm breiten Ballon (Glidex, Fa. Boston) wurde über den Amplatz-Draht eingeführt. Der gesamte transhepatische Punktionsstrakt wurde, nach Zurückziehen der Schleuse, vordilatiert. Dann wurden Stents implantiert. Es wurden selbstexpandierende Stents (memotherm, Fa. Angiomed, Karlsruhe) mit einem Durchmesser von 10 mm und einer Länge von 4 bis 6 cm implantiert. Der Stenttrakt sollte den transparenchymalen Trakt vollständig einschließen, d.h. mindestens an die Lebervene reichen, und nach kaudal in den rechten Pfortaderast hineinreichen. Der gesamte Stenttrakt wurde mit dem Ballon nachdilatiert. Bei schmalen Durchmesser der Lebervene wurde auch diese bis zur Einmündung in die V. cava inferior dilatiert.

Zur Messung des portosystemischen Druckgradienten wurde ein 4 F-Pigtail-Katheter über den liegenden Draht in die V. portae eingeführt. Der Draht wurde entfernt, und es wurde der Druck in der V. portae in cm Wassersäule gemessen. Dann wurde der Draht wieder eingeführt, und über diesen der Katheter in den rechten Vorhof gezogen. Nach Entfernung des Drahtes wurde der Druck im rechten Vorhof in cm Wassersäule ermittelt. Anschließend wurde der Katheter entfernt. Die Schleuse wurde durch einen Shaldon-Katheter eingewechselt und der Draht entfernt.

2.2. Strahlenschutzbedingungen

Die vorgeschriebene Röntgenschutzschürze wurde vom Interventionalisten, der Assistentin und dem Sonographeur während der gesamten TIPS-Anlage getragen und hatte eine Dicke von 0,35 mm Bleiäquivalent. Diese war hinten offen und reichte nach unten bis in Kniehöhe. Bei den ersten 15 Interventionen bei 10 männlichen Patienten und 5 weiblichen Patientinnen (Alter $50,87 \pm 12,73$ Jahre) wurden keine Dauerschutzeinrichtungen, kein Schilddrüsenschutz und kein bleiarmierter Handschuh verwendet. Bei den nächsten 15 Interventionen bei 11 männlichen Patienten und 4 weiblichen Patientinnen (Alter $53,40 \pm 10,22$ Jahre) wurde eine Bleiglasscheibe mit 1 mm Bleiäquivalent verwendet. Die Bleiglasscheibe wurde, sobald der transjuguläre Zugang in die Lebervene erfolgt war und der Bildverstärker nicht mehr wesentlich bewegt werden brauchte, zwischen den Interventionalisten und den Bildverstärker positioniert. Ein Unterkörperschutz mit Lamellenform und 0,5 mm Bleiäquivalent (Fa. Mavig, München) wurde zwischen den Sonographeur und die Röntgenröhre, welche eine Untertischröhre war, an der seitlichen Kante des Angiographie-Tisches befestigt. Sowohl der Interventionalist als auch die Assistentin und der Sonographeur trugen einen Schilddrüsenschutz mit 0,5 mm Bleiäquivalent (Fa. Mavig). Der Sonographeur trug an der den Schallkopf haltenden Hand einen bleiarmierten Handschuh mit einer Dicke von $304,8 \mu\text{m}$ (Fa. Boston, Miami, USA). Nach Firmenangaben werden von diesem Handschuh 53 bis 62% der auftreffenden Strahlung bei einer Energie von 80 bis 100 keV durchgelassen. Der Sonographeur stellte sich an seine Position an der linken oder rechten Patientenseite erst, wenn der Führungsdraht durch den Interventionalisten in die Lebervene platziert wurde (Abb. 1). Er entfernte sich aus Strahlenschutzgründen aus dieser Position, sobald die Punktion des Pfortadergefäßes erfolgt war.

2.3. Dosismessung und Dosisabschätzung

Zur Dosismessung wurden Lithiumfluorid-Thermolumineszenzdosimeter (LiF-TLD) der Fa. Harshaw (Cleveland, USA) in Form von Lithiumfluorid-Kristallen ($3,2 \times 3,2 \times 0,9 \text{ mm}^3$) verwendet. Eine Korrektur bezüglich der Dosis durch natürliche Strahlung ($0,05 \text{ mSv/Monat}$) war wegen der kurzen Zeitdauer zwischen Exposition und Regenerierung der Detektoren (maximal zwei Tage) nicht notwendig. Ebenso war das Fading von 5% Dosisverlust in 12 Monaten für das Messergebnis vernachlässigbar. Die Berücksichtigung des individuellen Ansprechvermögens der Detektoren in Abhängigkeit von der Energie der Röntgenstrahlung führte zu einem Energiekorrekturfaktor, der zwischen 1,00 und 1,05 lag. Die Nachweisgrenze betrug $0,01 \text{ mSv}$.

Zur Messung der Strahlenexposition des Interventionalisten, des Sonographen und der Assistentin wurden TLD oberhalb der Augenlider, an beiden Seiten der Schilddrüse ohne Schilddrüsenschutz bzw. unter den Schilddrüsenschutz, an beiden Handrücken nahe des Mittelfingergrundgelenkes ohne bzw. unter den Bleihandschuh, an beiden Unterschenkeln über der Tibia, unter der Schutzschürze an der Brust mittig in Höhe der Mamille, am Abdomen über dem Nabel und am Unterleib über der Symphyse fixiert.

Als „Teilkörperdosis“ wurde hier die an einem Organ oder Körperteil applizierte maximale Dosis definiert. In diesem Sinne wurden die mit Hilfe der TLDs über den Augen, der Schilddrüse, Brust, Symphyse und Hand gewonnenen Werte der Oberflächendosis als Teilkörperdosis der Linse, Schilddrüse, Brust, Hoden bzw. Hand verstanden, unabhängig vom Geschlecht des Interventionalisten bzw. der Assistentin. Bei beidseitiger Dosismessung galt der jeweils höhere Dosiswert als Teilkörperdosis.

Als Teilkörperdosis der Knochenoberfläche und des Knochenmarks sollte die über der Tibia gemessene Oberflächendosis angenommen werden, da an dieser Meßstelle am meisten Knochenoberfläche und Knochenmark vorliegen. Analog galt diese Oberflächendosis als Teilkörperdosis der Haut und des Muskels. Mit dem höheren der über den beiden Augen gemessenen Dosiswerte erhielt man eine Abschätzung für die Strahlenexposition des Gehirns. Die Oberflächendosis an der Hand und an der Tibia kennzeichnete die Exposition der oberen bzw. unteren Extremität oder der Teile davon.

Die an der Brust gemessene Dosis sollte die Teilkörperdosis der Brust und der inneren Organe des Thorax und die über dem Bauchnabel gemessene Dosis die Teilkörperdosis der inneren Bauchorgane nach oben abschätzen. Die Teilkörperdosis der Ovarien und des Uterus wurde der Dosis über der Symphyse gleichgesetzt.

Zur Abschätzung der effektiven Dosis des Interventionalisten und der Assistentin nach ICRP 60 (20) wurden folgende vereinfachenden und konservativen Annahmen getroffen: Die Expositionen oberhalb der Augenlider repräsentierten die mittlere Dosis des Gehirns und des Kopfes, die über der Schilddrüse die Dosis der Schilddrüse, die über der Brust die Dosis der Lunge und des Ösophagus, die über dem Nabel die Dosis der inneren Bauchorgane, die über dem Handrücken die Dosis der oberen Extremität und die über der Tibia die Dosis der unteren Extremität. Bei beidseitiger Messung wurde jeweils der Mittelwert der beiden Dosiswerte verwendet. Zur Abschätzung der mittleren Dosis der Haut, des Muskels, des roten Knochenmarkes und der Knochenoberfläche wurden die Messwerte mit gewichteten Anteilen gemittelt (1 x Dosis der oberen Extremität, 1 x Dosis der Kopfes, 1 x Dosis des Halses, 2 x Dosis des Thorax, 2 x Dosis des Abdomens, 2 x Dosis der unteren Extremität).

Aus den Teilkörperdosen und den Dosisgrenzwerten (38) wurde für den Interventionalisten, die Assistentin und den Sonographeur die maximal zulässige Anzahl an TIPS pro Jahr errechnet. Desweiteren wurden aus den abgeschätzten Organdosen und der effektiven Dosis und den von der Internationalen Strahlenschutzkommission bekanntgegebenen Risikokoeffizienten (20) die Risiken für eine Krebserkrankung mit tödlicher Folge abgeschätzt. Schließlich wurden aus den Teilkörperdosen und den für die Entstehung von deterministischen Schäden maßgeblichen und von der Internationalen Strahlenschutzkommission (20) bekanntgegebenen Dosis-schwellenwerten die Anzahl an TIPS pro Jahr errechnet, ab der mit der Entstehung von solchen Schäden zu rechnen ist.