

Myelografie zur Darstellung von Rückenmarkseinengungen

Anja Kasperek, Martin Waselau, Bernadette Bracher

Die Myelografie ist eine Untersuchungsmethode, die viel zu selten bei neurologisch auffälligen Pferden verwendet wird. Die Gabe von einem Kontrastmittel in den Rückenmarkskanal erlaubt es, die tatsächlichen Rückenmarks- und Rückenmarkskanal-Ausmaße röntgenologisch darzustellen, Einengungen des Halsmarks zu erkennen und Ursachen für neurologische Auffälligkeiten zu identifizieren sowie deren Prognose abzuschätzen.

Pferde mit neurologischen Defiziten fallen in der Praxis meistens aufgrund von Gangstörungen, vermehrtem Stolpern, Muskelschwäche oder einer Ataxie auf. Wird bei der neurologischen Untersuchung der Verdacht auf eine Ataxie erhoben, handelt es sich hierbei in aller Regel um eine dynamische Stenose des Halsrückenmarks (Cervical Dynamic Stenosis, CDS), die vor allem bei Flexion oder Extension der Halswirbelsäule auftritt, oder um eine statische Stenose (Cervical Static Stenosis, CSS), die bewegungsunabhängig besteht. Beide Erkrankungen werden als Cervical Vertebral Malformation (CVM)

zusammengefasst (Wagner et al. 1985; Rush Moore et al. 1994; Hahn et al. 2008).

Die Myelografie stellt eine der zuverlässigsten Methoden zur exakten Lokalisation einer Rückenmarkskompression am lebenden Pferd dar, wenn sich in der klinischen Untersuchung der Verdacht auf eine CVM ergibt (Mayhew et al. 1978; Neuwirth 1992).

Verwendete Kontrastmittel

In Anlehnung an die Humanmedizin werden die Agenzien **Iohexol** oder **Iopamidol** verwendet. Diese sind wasserlösliche, monomere, nichtionische Kontrastmittel, die nach der Injektion resorbiert und innerhalb von 48 Stunden über die Nieren ausgeschieden werden.

Als einzige Nebenwirkungen werden bei Verwendung der aktuell gebräuchlichen Substanzen (wie z.B. Iopamidol) ein **geringgradiges extradurales Ödem** und ein **Anstieg der Leukozyten im Liquor** beschrieben (Burbidge u. Kannegiester

1989). Beide Effekte treten jedoch in einem deutlich geringeren Ausmaß als bei früher gebräuchlichen Substanzen wie Metrizamid auf (May et al. 1986). Da wahrscheinlich besonders die hydrophoben Jod-Atome für die direkte zelluläre Toxizität verantwortlich sind, sind hydrophile Kontrastmittel weniger toxisch (Widmer 1989).

Dosierungen

Für **Iohexol** wird die Gabe von 40–60 ml in den Subarachnoidalraum empfohlen. Bei kleineren Pferden und kranial vermuteter Problematik wird dabei eine Konzentration des Kontrastmittels von 300 mg Iod/ml und bei größeren Tieren oder weiter kaudal liegender Problematik eine Konzentration von 350 mg Iod/ml empfohlen (Burbidge u. Kannegiester 1989; Rantanen 2002).

Für **Iopamidol** werden von anderen Autoren Dosierungen von 35–40 ml bei einer Konzentration von 300–370 mg Iod/ml empfohlen (Mayhew et al. 1978; Nyland et al. 1980; May et al. 1986).



Abb. 1 Liquorentnahme durch atlantookzipitale Punktion. Nach Entnahme des Liquors wird der Dreiweghahn umgestellt und die gleiche Menge an Kontrastmittel über das System eingegeben. © A. Kasperek



Abb. 2 Röntgendurchführung. © A. Kasperek



Abb. 3 In der Aufwachphase sollte der Kopf erhöht gelagert werden. © A. Kasperek

Technik der Myelografie

Vorbereitung

Die Myelografie wird in **Allgemeinanästhesie** durchgeführt. Die Wahl der Narkose (Injektions- oder Inhalationsnarkose) scheint keine Auswirkung auf die Verträglichkeit der neueren Kontrastmittel zu haben (May et al. 1986). Einige Autoren empfehlen eine **Prämedikation mit Phenylbutazon** (4,4 mg/kg) (Rantanen et al. 1981), wobei deren Effektivität in der Verhinderung möglicher Komplikationen (Ödembildung, intrakranialer Schmerz) von anderen bezweifelt wird (Hubbel et al. 1988). In ihrer Praxis wenden die Autoren stets eine Prämedikation an und haben hiermit sehr gute Erfahrungen gemacht.

Das Pferd wird in Seitenlage gelegt und sein Kopf gebeugt, bis er einen Winkel von ca. 90° mit dem Hals bildet. Kopf und Nacken werden im Winkel von 30° hoch gelagert, um die Anreicherung des Kontrastmittels bis in die kaudale Halswirbelsäule zu garantieren und ein Vordringen des Kontrastmittels bis zum Gehirn zu verhindern.

Durchführung

Nachdem eine Fläche von circa 15 × 20 cm um die Punktionsstelle chirurgisch vorbereitet worden ist, wird der Subarachnoidalraum axial an der kranialen Kante des Atlas punktiert. Hierbei verwenden die Autoren eine 18 G × 31/2" (1,25 × 90 mm) Spinalkanüle (z. B. M. Schilling GmbH). Die exakte Winkelung sowie die Tiefe der Punktion können individuell leicht unterschiedlich sein, daher muss die Punktion langsam und unter kontrollierter Bewe-

gung durchgeführt werden. Es ist wichtig, bei jeglicher Manipulation ein Mandrin zu benutzen, um eine Verletzung des Nervengewebes zu verhindern. Eine **Liquorprobe** (40–70 ml) wird über einen ausreichend langen Zeitraum (bewährt haben sich mindestens 3 Minuten) gewonnen (Burbidge u. Kannegiester 1989). Die Menge an Liquor, die entnommen wird, entspricht der Menge an Kontrastmittel, die später appliziert wird (► **Abb. 1**). Der Liquor sollte klar und farblos sein und ohne vermehrten Druck ablaufen (ein physiologischer Druck entspricht einem sanften Abfließen entlang der Kanüle). Tritt der Liquor mit deutlich erhöhtem Druck aus, weist er eine pathologische Beschaffenheit oder Farbe auf, oder besteht der Verdacht auf eine bakterielle Infektion, ist eine Myelografie kontraindiziert (Neuwrith 1992).

Anschließend erfolgt die **Applikation des Kontrastmittels**, die keinesfalls zu zügig sein darf. Die zeitlichen Angaben hierfür variieren zwischen 2 und 12 Minuten (Burbidge u. Kannegiester 1989; Moore u. Reed 1993 a; Nyland et al. 1980). Die Autoren verabreichen das Kontrastmittel je nach Pferdegröße und Volumen über 4–5 Minuten.

Eine mögliche Variante dieser Methode, die von den Autoren nicht empfohlen wird, ist die Entnahme des Liquors lumbosakral, während das Kontrastmittel wie beschrieben atlantookzipital appliziert wird (Nixon et al. 1982a). Im Anschluss an die Kontrastmittelapplikation injiziert Nyland (1980) noch 30 ml Liquor, um abzusichern, dass das Kontrastmittel bis

zum Oberrand des 1. Brustsegmentes diffundiert.

Überwachung

Während der Untersuchung sollten Blutdruck und Atmung des Pferdes sorgfältig überwacht werden. Die Injektion des Kontrastmittels kann in seltenen Fällen zu einem deutlichen **Blutdruckabfall** führen: In diesem Fall müssen umgehend kreislaufunterstützende Infusionen verabreicht werden. Außerdem können die Veränderungen im Liquordruck das **Atemzentrum** beeinträchtigen (Green u. Keegan 1994): Aus diesem Grund intubieren die Autoren alle Pferde, obwohl die Myelografie gut in reiner Injektionsnarkose durchzuführen ist.

Röntgenaufnahmen

Aufgrund der Verteilung des Kontrastmittels innerhalb des Liquorraumes ist die Untersuchungszeit auf etwa **30 Minuten** beschränkt (Papageorges et al. 1987).

Zur Optimierung der Bildqualität sollten eine leistungsstarke Röntgenröhre und ein Raster unterschiedlicher Beschaffenheit verwendet werden. Verschiedene Autoren empfehlen einen Abstand von 1 m zum Objekt (Nyland et al. 1980; May et al. 1986; Burbidge u. Kannegiester 1989). Moderne Speicherfolien-Röntgensysteme ermöglichen eine schnelle Entwicklungszeit bei einer geringen Strahlenbelastung.

Da es sich meistens um dorso-ventrale Kompressionen handelt, sind die **latero-lateralen** Aufnahmen normalerweise ausreichend (► **Abb. 2**). Aufgrund der größeren Muskelmasse und der sich ergebenden stärkeren Röntgenstreuung sind die Röntgenaufnahmen im dorso-ventralen Strahlengang von schlechterer Qualität, nur im kranialen bis mittleren Halswirbelbereich durchführbar und ausschließlich bei weniger bemuskelten Pferden zu empfehlen (Nixon et al. 1982a; Neuwrith 1992).

Die Röntgenaufnahmen werden in neutraler Kopfhaltung, Hyperflexion und ggf. Hyperextension angefertigt. Um die Darstellung der Halswirbelsäule im kaudalen Bereich zu optimieren, sollten die Vordergliedmaßen möglichst weit nach kaudal gezogen werden (Neuwrith 1992). Im All-

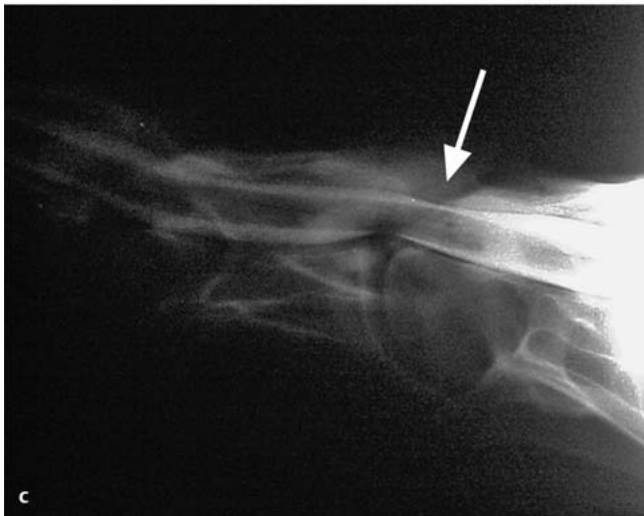
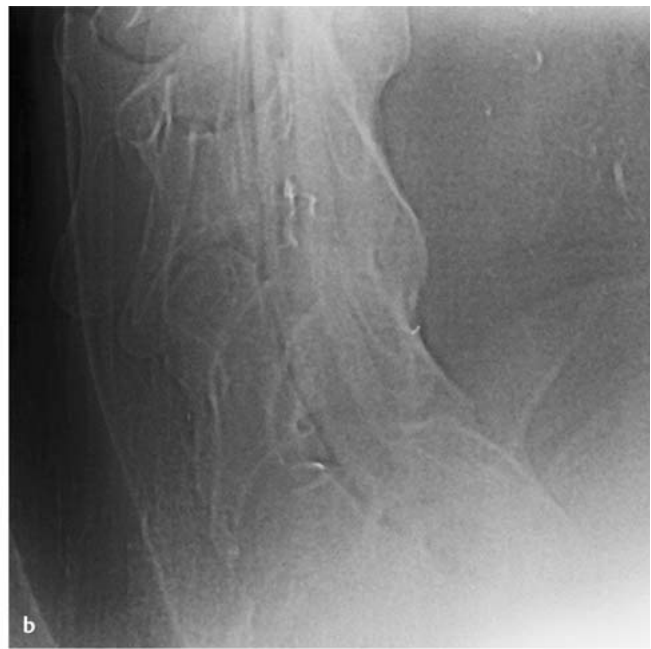
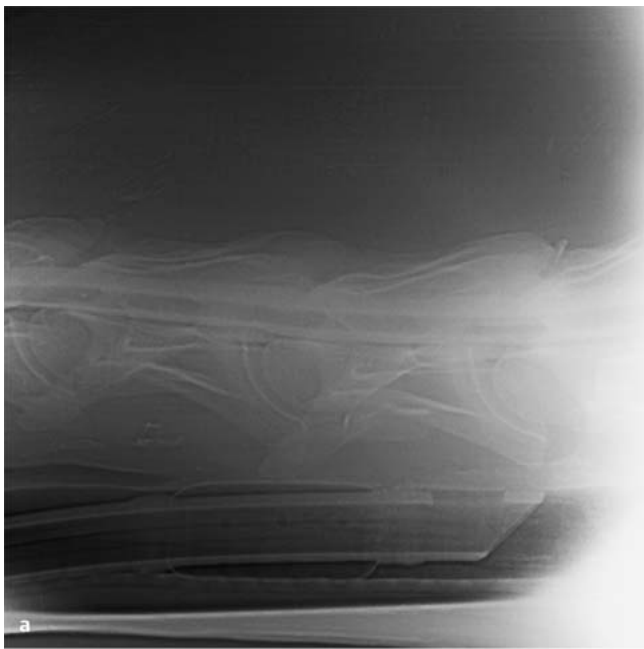


Abb. 4a bis d Myelografie-Röntgenbilder. **a** Mittlere Aufnahme: physiologischer Kontrastmittelverlauf. **b** Kaudale Aufnahme (C6/C7/T1) in Hyperextension: keine ersichtliche Stenose. **c** Aufnahme C5/C6 in neutraler Stellung: statische Kompression. **d** Aufnahme C3/C4 in Flexion: dynamische Kompression. © A. Kasperek

gemeinen werden ca. **5 Röntgenaufnahmen** angefertigt:

- ▶ 3 in neutraler Position mit Zentrierung auf C2, C4 und C6
- ▶ 2 in gebeugter Kopf-Hals-Haltung mit Zentrierung auf C4 und C6

Diese Aufnahmen ermöglichen meist die zuverlässige Diagnose statischer und dynamischer Stenosen, ohne dass eine Hyperextensionsaufnahme zwingend notwendig ist (Nyland et al. 1980; Nixon et al. 1982 a; Moore u. Reed 1993 a). Besonders bei älteren Pferden oder unklarer Auswertung fertigen die Autoren sie jedoch zusätzlich an.

Aufwachphase

Es hat sich bewährt, den Kopf auch in der Aufwachphase erhöht zu lagern, um die rasche Verteilung des Kontrastmittels zu sichern und den Rückfluss in Richtung Gehirn weiterhin zu verhindern (▶ **Abb. 3**). Nach der Injektion des Kontrastmittels sollten mindestens 30 Minuten abgewartet werden, bevor das Pferd aufstehen darf (Green u. Keegan 1994). Wenn Iopamidol als Kontrastmittel verwendet wird, scheint die Aufwachphase sich nicht von einer üblichen Allgemeinanästhesie ohne Manipulation zu unterscheiden, obwohl Tiere mit neurologischen Defiziten grundsätzlich eine höhere Komplikationsrate als

gesunde Pferde aufweisen (Nyland et al. 1980; May et al. 1986; Neuwirth 1992).

Mögliche Komplikationen

Sollte die Punktion eine Verletzung des Rückenmarks verursachen, können **schwere neurologische Ausfälle** bis hin zum Tod des Tieres eintreten. Deswegen ist es wichtig, dass der Tierarzt ausreichend Erfahrung besitzt und der Patientenbesitzer vor der Untersuchung ausführlich aufgeklärt wird (Moore u. Reed 1993 a).

Wenngleich insgesamt selten, kann das Kontrastmittel schwere Nebenwirkungen

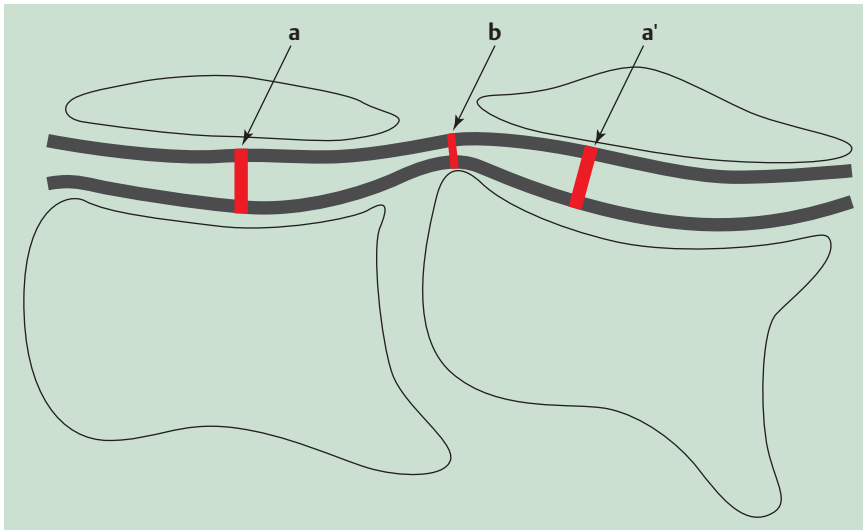


Abb. 5 Berechnung des Verhältnisses der Stenose (S_m); (a) und (a') sind die maximalen sagittalen Rückenmarksdurchmesser auf Höhe des kranialen und kaudalen Wirbels, (b) ist der minimale sagittale Rückenmarksdurchmesser auf Höhe der Gelenksverbindung beider Wirbel (nach Tomizawa et al. 1994 c). © xxx

wie z.B. Ödembildung, intrakranialer Schmerz oder zentralnervöse Ausfälle hervorrufen. Die Verdünnung von Iohexol mit sterilem Wasser kann zu einer hämorrhagischen Leptomeningitis führen und ist deswegen kontraindiziert (Moore u. Reed 1993a).

In der Allgemeinanästhesie wird der Muskeltonus medikamentös herabgesetzt und somit die übliche muskuläre Stabilität für das Rückenmark reduziert. Die für die Untersuchung notwendigen Manipulationen können bei dieser Myorelaxation unter Umständen zu einer **Aggravierung der Rückenmarksschäden** führen (Rantanen et al. 1981; Hubbel et al. 1988).

Bei dehydrierten Tieren kann die renale Ausscheidung reduziert und somit die Verweildauer des Kontrastmittels verlängert sein. Dadurch wird das Risiko des Auftretens von Nebenwirkungen erhöht. Diese Gefahr lässt sich aber leicht durch eine korrekte präoperative Untersuchung und Infusionen während der Anästhesie minimieren (Widmer 1989).

Ferner sind die üblichen potenziellen Komplikationen einer Allgemeinanästhesie wie beispielsweise Myopathien, Lungenschäden und Verletzungen bei Aufstehversuchen zu beachten (Foley et al. 1986).

Aus der eigenen Praxis können die Autoren jedoch feststellen, dass die Myelografie durch ein erfahrenes Team mit einer **sehr geringen Komplikationsrate** einhergeht und eine schnelle und zuverlässige Methode zur Abklärung einer möglichen Spinalkanalenge darstellt. Es scheint somit nicht gerechtfertigt, den Tieren bei entsprechender Indikation dieses Diagnostikum und die daraus resultierende Einleitung einer adäquaten Therapie aus Sorge vor etwaigen Komplikationen vorzuenthalten.

Interpretation der Ergebnisse

Die Aufnahme in neutraler Stellung zeigt bei dynamischen Stenosen (CDS) oft keine Besonderheiten. Wenn kraniale und mittlere Wirbel betroffen sind, sind Untersuchungen in gebeugter Haltung wegweisend. Weiter kaudal muss hingegen eine neutrale oder gestreckte Aufnahme angefertigt werden: Diese Stenosen sind meist durch Veränderungen der Gelenkfortsätze oder der Ligamenta flava bedingt, die oftmals bei der Hyperextension deutlicher abzugrenzen sind und bei einer Flexion entlastet werden (Mayhew et al. 1978; Papageorges et al. 1987) (► **Abb. 4**).

Diagnosestellung

Allgemein wird von einer Rückenmarkskompression gesprochen, wenn die **Kontrastmittelsäule um 50% dorsal und ven-**

tral im Vergleich zum direkt kranial davon gemessenen Abstand reduziert ist. Mit dieser Methode konnte in Studien bei 75% der von CVM betroffenen Tiere die korrekte Diagnose gestellt werden. Da es aber auch falsch positive Ergebnisse gab, scheint diese Methode schließlich unsicher zu sein (Mayhew et al. 1978).

Ein weiterer Ansatz mit größerer Genauigkeit ist die **Messung des geringsten Durchmessers des Rückenmarks bei Beugung** (MFDSD = Minimum Flexed Dural Sagittal Diameter) (Mayhew et al. 1978). Mit dieser Auswertung wurden abhängig vom Gewicht verlässliche Referenztabellen zusammengestellt.

Ebenso effektiv wird die **subjektive Einschätzung der Einengung der Kontrastmittelsäulen** beschrieben, und zwar in den Fällen, in denen sie dorsal und ventral an 2 gegenüberliegenden Punkten um über 50% vermindert sind (Papageorges et al. 1987), was die Wahrscheinlichkeit einer CMV im Vergleich zu der zuvor beschriebenen Methode deutlich erhöhte. Ferner ist es bei einer schweren dynamischen Kompression gefährlich, das Tier in extremer Hyperextension und Hyperflexion zu untersuchen. Bei dieser Methode wird erst bei unklarer Situation, z.B. bei einer verdächtigen Einengung in Neutralposition, eine weitergehende Untersuchung eingeleitet (Papageorges et al. 1987). Das Maß der Manipulation und die Wahl der Aufnahmetechniken müssen daher immer von Patient zu Patient festgelegt werden und durch die Erfahrung des Untersuchers jeweils individuell im Verlauf jeder Untersuchung angepasst werden.

Eine aktuellere und objektivere Methode ist die **Berechnung des Verhältnisses der Stenose (S_m)**. Mit dieser Methode werden Verfälschungen durch Größenverzerrung und ungleiche Lagerung des Patienten ausgeschlossen, was einen deutlichen Vorteil darstellt (Tomizawa et al. 1994 c).

$$S_m = (1 - 2xb/(a+a')) \times 100$$

(a) und (a') sind die maximalen sagittalen Rückenmarksdurchmesser auf Höhe des kranialen und kaudalen Wirbels; (b) ist der minimale sagittale Rückenmarks-

durchmesser auf Höhe der Gelenksverbindung beider Wirbel (► **Abb. 5**).

Je höher S_m ist, desto ausgeprägter ist die Stenose. Als Grenzwert wird ein S_m von **40%** angegeben: Mit diesem Wert wird eine diagnostische Genauigkeit für CDS von 83% erreicht.

Andere Untersuchungsmethoden im Vergleich zur Myelografie: Computertomografie

Während in der Kleintiermedizin die Computertomografie (CT) bereits häufig benutzt wird, ist ihr Einsatz bei Pferden aufgrund deren Größe meist problematisch. Die Öffnungen der kommerziellen Geräte variieren zwischen 30–50 cm, was eine Anwendung in der Regel auf den Kopf bis zur mittleren Halswirbelsäule und die Extremitäten einschränkt. Um eine korrekte Lagerung zu ermöglichen, ist ebenfalls eine Allgemeinanästhesie notwendig (Barbee et al. 1987).

Vorteile der CT

Im Gegensatz zu den herkömmlichen Methoden ist die CT ohne Kontrastmittel ein **nicht-invasiver Eingriff**. Wird hierbei zusätzlich ein Kontrastmittel in den Spinalkanal appliziert, wird nur ca. halb so viel Kontrastmittel wie bei der Myelografie benötigt. Der anästhesierte und damit muskelrelaxierte Patient muss **nicht in stark manipulierten Positionen** untersucht werden, was eine Verschlimmerung der CDS-assoziierten Symptome weitgehend verhindert. Zudem ermöglicht die CT:

- eine objektive Messung der Rückenmarkskompression
- eine genaue Beurteilung der Integrität der umgebenden Strukturen
- eine bessere prognostische Aussage

Auch mit der CT können die Nervenwurzeln nicht dargestellt werden, jedoch erlauben die transversalen Schnitte eine Beurteilung ihrer Austrittsstellen (Moore et al. 1992).

In der Pferdemedizin stehen derzeit auch Computertomografen mit einem größeren Gantrydurchmesser (70–85 cm) zur Verfügung, sodass mittlerweile auch weiter nach kaudal reichende Untersuchungen und eine bessere Lagerung möglich sind.



Abb. 6 Pferd im MRT. © A. Kasperek

Nachteile der CT

Die noch sehr **hohen Anschaffungs- und Betriebskosten** sowie die schlichte **anatomische Begrenzung** des Verfahrens limitieren die Anwendung der CT in der Pferdepraxis. Außerdem finden sich in der Literatur keine klinischen Studien mit größeren Patientenzahlen, die eine höhere Effektivität dieser Untersuchungsmethode im Vergleich zu anderen belegt. Die Beurteilung der axialen Schnitte der Halswirbelsäule benötigt eine **größere Erfahrung** als die Beurteilung einer Profilaufnahme. Vor allem im Gelenkbereich der Halswirbelsäule ist es sehr schwierig, eine funktionelle Verringerung des Rückenmarkdurchmessers korrekt zu diagnostizieren. Für eine optimale Darstellung ist eine korrekte Lagerung des Patienten notwendig, was zu häufiger Repositionierung und somit zur **Verlängerung der Anästhesiedauer** führen kann (Moore et al. 1992).

Magnetresonanztomografie

Die Magnetresonanztomografie (MRT) ist als diagnostisches Verfahren zur Darstellung von Rückenmarksstenosen beim ausgewachsenen Pferd in der Literatur nicht beschrieben. Der Magnetresonanztomograf vereint alle Vorteile einer CT-Untersuchung in Hinblick auf 3-dimensionale Schnittbildgebung mit höchster Detailgenauigkeit. So ermöglicht diese Methode auch ohne Kontrastmittel die **genau-**

este Darstellung aller Weichteilstrukturen, wie beispielsweise der Nervenwurzeln (► **Abb. 6**). Das Halsmark kann in allen Ebenen beurteilt werden und dank neuester Technik in unterschiedlichsten Anschnitten berechnet werden. Im Vergleich zu den anderen Untersuchungsmethoden bedarf die Beurteilung und Berechnung der Bilder einer **noch größeren Erfahrung** und eines **höheren Zeitaufwands**.

Mit Ausnahme weniger Kliniken ist eine weit genug nach kaudal reichende Untersuchung der Halswirbelsäule kaum möglich, weshalb die Anwendung der MRT beim Pferd in diesem Bereich eingeschränkt ist. Die Autoren können in ihrer Praxis diese Untersuchungsmöglichkeit durchführen, jedoch greifen sie trotzdem als Erstuntersuchung aufgrund der Schnelligkeit und auch aus Kostengründen in der Regel zunächst auf die Myelografie zurück. Bei zusätzlichen Fragestellungen oder bei Fohlen ist eine MRT-Untersuchung stets eine überlegene Alternative, da eine bessere 3-dimensionale Darstellung aller Strukturen inklusive der Umgebungsstrukturen möglich ist.

Fazit

Auch wenn die Myelografie eine relativ alte Untersuchungsmethode ist, muss sie immer noch als anerkanntes Diagnosti-

kum beim ataktischen Pferd angesehen werden. Sie dürfte im Regelfall die **Methode der Wahl** sein, um eine definitive Diagnose zu stellen. Die Vorteile der CT oder der MRT sind auf wenige Fälle der CVM beschränkt, die zwar klinisch deutlich erscheinen, aber aufgrund einer lateralen Kompression in der Myelografie schlecht lokalisiert werden können (Moore et al. 1992).

Im Fall einer Einengung des Rückenmarkkanals ermöglicht die Myelografie eine zuverlässige Diagnose bis zum Eingang der Brustwirbelsäule. Sind die Untersucher eingespielt und der Ablauf optimiert, ist die Untersuchung für die Pferde sicher durchzuführen und die Komplikationsraten sind niedrig. Für die Besitzer stellt die Myelografie eine relativ kostengünstige Erstuntersuchung mit realistischer Einschätzung der Konsequenzen der erhobenen Befunde dar. Zusätzlich

bietet sie die Möglichkeit, den Liquor zu untersuchen, um weitere neurologische Krankheitsbilder abzuklären.

Bei schwerwiegender oder laterolateraler Kompression ist die Prognose selbst bei operativer Halswirbelfusion meist vorsichtig. Alle gering- bis mittelgradigen Kompressionen haben beinahe altersunabhängig eine gute Prognose nach operativer Therapie. Bei jüngeren Pferden sind dynamische Stenosen der mittleren Halswirbelsäule häufiger anzutreffen, ältere Pferde sind eher von statischen Stenosen der kaudalen Halswirbelsäule betroffen.

Da die Myelografie eine frühzeitige Abschätzung der Prognose und die Einleitung einer adäquater Therapie ermöglicht, würden viele Pferde von einer rechtzeitigen Zuweisung in eine in der Myelografie erfahrene Fachklinik profitieren.

Literatur

Vollständiges Literaturverzeichnis bei den Verfassern.

Dr. Anja Kasperek

Fachtierärztin für Pferde, Fachtierärztin für Pferdechirurgie

Dr. Martin Waselau

Master of Science, Diplomate ACVS, Diplomate ECVS, Fachtierarzt für Pferdechirurgie

TÄ Bernadette Bracher

Pferdeklinik Aschheim
Gartenstrasse 14
85609 Aschheim
office@pferdeklunik-aschheim.de