

Zur Auswertung szintigraphischer Aufnahmen des Kniegelenks beim Pferd

Nicole Hieber, H.D. Lauk und G. Ueltschi

Abteilung Klinische Radiologie, Departement für klinische Veterinärmedizin, Universität Bern, Bern

Zusammenfassung

Die Beurteilung szintigraphischer Aufnahmen geschieht beim Pferd meist durch visuelle Einschätzung. Mittels quantitativer ROI (Regions of interest)-Technik sollten beim Kniegelenkszintigramm bestimmte Regionen daraufhin untersucht werden, ob zwischen klinisch gesund und klinisch auffällig erscheinenden Gelenken signifikante Unterschiede bestehen und ob es möglich ist, für einzelne ROI Referenzwerte anzugeben. Es wurden insgesamt 207 Kniegelenke von 195 Pferden untersucht und je nach der klinischen Symptomatik in drei Gruppen eingeordnet. Die quantitative Auswertung der seitlichen Kniegelenksaufnahmen erfolgte rechnerisch nach Definition 12 verschiedener ROI, die den Lokalisationen der häufigsten Veränderungen bzw. Erkrankungen des Kniegelenks entsprechen sowie einer Referenz-ROI an der Tibiadiaphyse, zu der alle anderen Werte in Beziehung gesetzt wurden. Die meisten der so errechneten Quotienten klinisch gesunder Kniegelenke zeigen eine deutliche Altersabhängigkeit. Sie nehmen bis zum Alter von 5 Jahren stark ab, um sich dann auf einen bestimmten Bereich einzupendeln. Signifikante Unterschiede zwischen klinisch gesunden und kranken Kniegelenken ergaben sich für 8 der 12 ROI. Die Resultate zeigen, dass die quantitative Auswertung des Kniegelenkszintigramms die visuelle Beurteilung nicht ersetzen kann. Die szintigraphische Untersuchung liefert einerseits als einzige bildgebende Untersuchungsmethode frühzeitig Informationen über Veränderungen der Stoffwechsellage des Knochens, ist andererseits jedoch zu empfindlich, um für die quantitative Auswertung die Festlegung aussagefähiger und verlässlicher Normwerte zu ermöglichen.

Schlüsselwörter: Pferd, Kniegelenk, Skelettszintigraphie, Region of interest, ^{99m}Tc -DPD

Evaluation of equine scintigraphic stifle scans

Evaluation of equine scintigraphic bone scans is carried out mostly by visual interpretation. By the use of ROI (regions of interest)-technique scintigraphic stifle scans were evaluated regarding possible significant differences between clinically healthy and pathological stifles. Certain regions of interest were measured quantitatively trying to determine reference ranges for the different regions. 207 stifles of 195 horses were examined and classified into three groups according to the clinical symptoms. For the quantitative evaluation of the lateral views 13 different regions of interest were appointed. One of these regions was located on the diaphysis of the tibia and served as reference region. Most of the ratios between the other regions and this reference region of the clinically healthy group show a strong dependence on age of the horses, decrease quickly until 5 years of age and then find their level. Significant differences between the clinically healthy and pathological stifles were found for 8 of the 12 regions. The results prove that the quantitative evaluation of stifle scintigraphy in horses cannot replace the visual examination of the scintigram. The scintigraphic examination is the only diagnostic procedure that gives early information about actual bone metabolism, but is too sensitive for providing useful reference ranges for the quantitative evaluation.

Keywords: horse, stifle, bone scintigraphy, region of interest, ^{99m}Tc -DPD

Einleitung

Das Kniegelenk des Pferdes ist anatomisch sehr komplex aufgebaut und von einer großen Weichteilmasse umgeben. Es ist im Falle von Erkrankungen seiner verschiedenen Strukturen diagnostisch relativ schwer zugänglich. Für die bildgebende Diagnostik der Gonopathien stehen die üblichen medizinisch-technischen Verfahren zur Verfügung. Die Skelettszintigraphie stellt eine nicht invasive, hoch sensitive, aber relativ unspezifische Technik dar, mit der es möglich ist, durch direkte bildliche Darstellung des aktuellen Knochenmetabolismus in vivo pathologische Veränderungen des Knochengewebes frühzeitig aufzudecken. Osteonales Remodelling als unspezifisches Symptom gesteigerter Osteogenese hat erhöhten Knochenstoffwechsel zur Folge, der durch vermehrte lokale Anreicherung von knochenaffinen, radioaktiven Verbindungen szintigraphisch nachgewiesen werden kann. Das Maß der Anreicherung ist von Masse,

Volumen und anatomischer Lokalisation des untersuchten Skelettbereichs, von dessen Durchblutung und vom Alter des Tieres abhängig (Ueltschi 1980). Zur Registrierung der Zerfallsergebnisse dienen Gammakameras, mit denen nach Applikation des Radiopharmakons Knochenszintigramme erstellt werden. Eine Erstauswertung der Aufnahmen geschieht in der Regel visuell. Die quantifizierende Skelettszintigraphie bietet die Möglichkeit, den subjektiven Eindruck der visuellen Beurteilung des Szintigramms zu objektivieren, direkt mit anderen Individuen oder der kontralateralen Seite zu vergleichen und den Verlauf der Erkrankung genau zu verfolgen und zu dokumentieren. Die Skelettszintigraphie beim Pferd hat seit ihrer Einführung in den siebziger Jahren in der Lahmheitsdiagnostik (Ueltschi 1975) stetig an Bedeutung zugenommen und nimmt heute unter den bildgebenden Verfahren einen festen Platz ein. Durch eine ge-

eignete Kombination von physiologisch-funktionellen (Knochenszintigraphie) und anatomisch-strukturellen (z.B. Röntgen, Ultraschall) bildgebenden Verfahren vor dem Hintergrund der klinischen Befunde konnte in der Pferdeorthopädie eine erhebliche Verbesserung und Verfeinerung der Diagnostik erreicht werden (Chambers et al. 1995). Gewisse Frühstadien von Gelenk- und Knochenkrankungen können zwar vor ihrer klinischen Manifestation röntgenologisch erfasst werden, eine Unterscheidung zwischen inaktiven Veränderungen und solchen, die aktiv und klinisch relevant sind, ist aber nicht möglich (Ueltschi 1980). Röntgenologisch sichtbare Änderungen der Knochendichte und -struktur werden zudem erst ab einer Größenordnung von mehreren Gramm zugebildeter oder abgebauter Mineralsubstanz deutlich. Die Knochenszintigraphie stellt dagegen direkt den Metabolismus von Knochensubstanz und umliegendem Weichteilgewebe dar und weist in den frühen Krankheitsstadien für Knochenveränderungen eine hohe Sensitivität auf. So können sich schon 12 Stunden nach einer Verletzung szintigraphische Veränderungen zeigen, und nach 3 Tagen ist fast immer eine veränderte Anreicherung nachzuweisen (Devous und Twardock 1984). Die szintigraphische Untersuchung ist nicht nur weitaus sensitiver als die röntgenologische, sie kann auch die genauere Lokalisation der pathologischen Veränderungen erleichtern und zur Bewertung der klinischen Relevanz von Röntgenbefunden ergänzend eingesetzt werden (Lamb et al. 1988). Der Nachteil der Szintigraphie liegt auch für die Lahmheitsdiagnostik in der Pferdeorthopädie in ihrer vergleichsweise geringen Bildauflösung und in der geringen Spezifität. So können über Speichermuster, die auch allein durch lokal veränderte Durchblutung oder durch verschiedene mechanische Belastungen verändert sein können keine zuverlässigen ätiologischen Aussagen getroffen werden. Falsch negative Befunde sind dagegen selten. Weit fortgeschrittene Arthrosen müssen dann kein auffälliges Szintigramm ergeben, wenn aktuelle Zubildungen im Knochengewebe fehlen (Ueltschi 1988). Die strukturellen Veränderungen des Knochengewebes sind zum Stillstand gekommen und eine erhöhte Osteoblastenaktivität liegt nicht vor (Lamb et al. 1988).

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, mittels quantitativer ROI-Technik bestimmte Regionen des Kniegelenkszintigramms beim Pferd dahingehend zu untersuchen, ob zwischen knochenszintigraphischen Aufnahmen „klinisch gesunder“ und „klinisch auffälliger“ Kniegelenke signifikante Unterschiede bestehen, ob ein Zusammenhang mit den röntgenologischen Befunden dieses Bereichs bestehen und ob Referenzbereiche angegeben werden können.

Material und Methode

In die Untersuchungen wurden 195 Pferde mit Erkrankungen der Hintergliedmaßen oder der Wirbelsäule einbezogen. Bei 12 Tieren erfolgte eine Beurteilung beider Kniegelenke, so dass sich eine Summe von 207 beurteilten szintigraphischen Kniegelenksaufnahmen ergibt. Signalement und Vorbericht der Patienten wurden festgehalten. Zu den klinischen Untersuchungsmethoden zählten Adspektion, Bestimmung des Lahmheitsgrades, Beugeproben der distalen und proximalen Gelenke, Pal-

pation, Leitungs- und Gelenkanästhesien. 25 Pferde wurden einer lokalen Anästhesie des Kniegelenkes unterzogen, wobei dies stets nach der szintigraphischen Untersuchung geschah, um falsch-positive Befunde durch Medikamenten-bedingte Artefakte zu vermeiden. Von 91 Kniegelenken lagen Röntgenbilder vor. Aufgrund der klinischen und röntgenologischen Befunde wurden die Patienten in drei Gruppen eingeteilt (s. Tabelle 1).

Tab 1: Anzahl der Kniegelenke pro Gruppe

Number of stifle joints per group

Gruppen	Gesamtanzahl	Alter bis 5 Jahre	Alter über 5 Jahre
Gruppe 1: Ohne klinische Hinweise auf eine Gonopathie	71	29	42
Gruppe 2: Klinischer Verdacht auf eine Gonopathie	51	15	36
Gruppe 3: Gonopathie klinisch nicht ausgeschlossen	85	13	72

Gruppe 1 umfasst die Pferde, bei denen eine Gonopathie klinisch und, sofern Röntgenaufnahmen des Kniegelenks angefertigt wurden, röntgenologisch ausgeschlossen werden konnten. Gruppe 2 stellt die Gruppe der Pferde dar, bei denen sich klinisch und/oder radiologisch Hinweise auf eine Erkrankung des Kniegelenkes als Lahmheitsursache ergaben. Zu den klinischen Befunden, die neben den unspezifischen Ergebnissen von Lahmheitsuntersuchung und Beugeproben für die Zuordnung zur Gruppe 2 ausschlaggebend waren, zählten: vermehrte Füllung des Femorotibial- bzw. Femoropatellargelenks (n=11), positive Gelenkanästhesie des Kniegelenks (n=15), Patellafixation (n=7), Krepitation im Kniegelenk (n=2), röntgenologische pathologische Veränderungen des Kniegelenks (n=20), arthroskopische Befunde wie Synovialitis und Knorpelursuren im Kniegelenk (n=1). Der dritten Gruppe wurden jene Pferde zugeordnet, bei denen eine Erkrankung des Kniegelenks klinisch nicht ausgeschlossen werden konnte, eindeutige Hinweise auf eine Gonopathie jedoch nicht vorlagen. Dies war zum Beispiel bei positiver Sprunggelenksanästhesie mit Restlahmheit, Pododermatitis mit positiver proximaler Beugeprobe oder bei unvollständiger klinischer Untersuchung der Fall. Die Altersverteilung ist in Tabelle 2 wiedergegeben. Dabei bleibt unberücksichtigt, dass bei 12 Pferden beide Kniegelenke untersucht wurden. Diese Fälle tauchen hier doppelt auf.

Als Quelle für das eingesetzte Radionuklid ^{99m}Tc diente das Tecegen©S-System (Behring), ein $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ -Generator, der jede Woche frisch angeliefert wurde. Als Markierungsbesteck wurde Teceos© (Behring) verwendet, das als Reduktionsmittel Zinn(II)-oxid und den Komplexbildner DPD (3,3-Diphosphono-1,2-propandicarbonsäure) in gefriergetrocknetem Zustand enthält. Für die szintigraphischen Aufnahmen stand eine Gamma-kamera vom Typ Sigma 410 (Ohio-Nuclear, Inc. Solon, Ohio, USA) zur Verfügung. Zur Verarbeitung der Messwerte wurde

das Computersystem Microdelta-Plus der Firma Siemens eingesetzt. Die Anfertigung der Szintigraphie-Aufnahmen des Kniegelenkes erfolgte stets in Vollnarkose. Zwei bis drei Stunden vor dem Ablegen erhielten die Pferde das Radionuklid streng intravenös (4–6 GBq / 500kg). Zum Schutz gegen Kontamination durch im Harn enthaltenes radioaktives Material wurden an allen vier Gliedmaßen Hufschuhe angelegt und diese mit Klebeband dicht verschlossen, sowie das zu untersuchende Bein distal des Sprunggelenks bandagiert. Zur Sedation erhielten die Pferde 1,5–2ml 1%ige Acepromacin-Lösung und 8–10ml Rompun®/500kg Körpergewicht intravenös und anschließend zur Narkoseeinleitung 50g Guaifenesin mit bis zu 2,5g Trapanal/500kg Körpergewicht. Nach dem Ablegen erfolgte die Intubation und Aufrechterhaltung der Anästhesie durch Inhalation von Halothan in Sauerstoff. Die Patienten wurden seitlich gelagert, so dass die zu untersuchende Gliedmaße oben lag. Der Bereich von Penis und Blase wurde mit Blei abgedeckt und das

Bein nicht ausgebunden, sondern locker gelagert. Nach optimaler Einrichtung des Kamerakopfes wurde die Aufnahme gestartet und mit 750 000 Counts (registrierte Zerfallereignisse) durchgeführt, wozu eine Aufnahmedauer von ca. 60 Sekunden nötig war.

Tab 2: Altersverteilung

Distribution of age

Gruppe 1 (n=71)			Gruppe 2 (n=51)		
Durchschnittsalter in Jahren					
Gruppe 1 = 7,1			Gruppe 2 = 7,8		
Lebens-jahre	Häufig-keit	%	Lebens-jahre	Häufig-keit	%
0,4	1	1,4	0,5	3	5,9
0,5	6	8,4	1	1	2,0
1	1	1,4	2	1	2,0
2	3	4,2	3	2	3,9
3	3	4,2	4	4	7,8
4	7	9,9	5	4	7,8
5	8	11,3	6	6	11,8
6	4	5,6	7	7	13,7
7	2	2,8	8	6	11,8
8	7	9,9	9	2	3,9
9	10	14,1	10	5	9,8
10	4	5,6	12	3	5,9
11	4	5,6	13	2	3,9
12	3	4,2	15	2	3,9
13	5	7,0	16	1	2,0
14	2	2,8	18	1	2,0
18	1	1,4	24	1	2,0

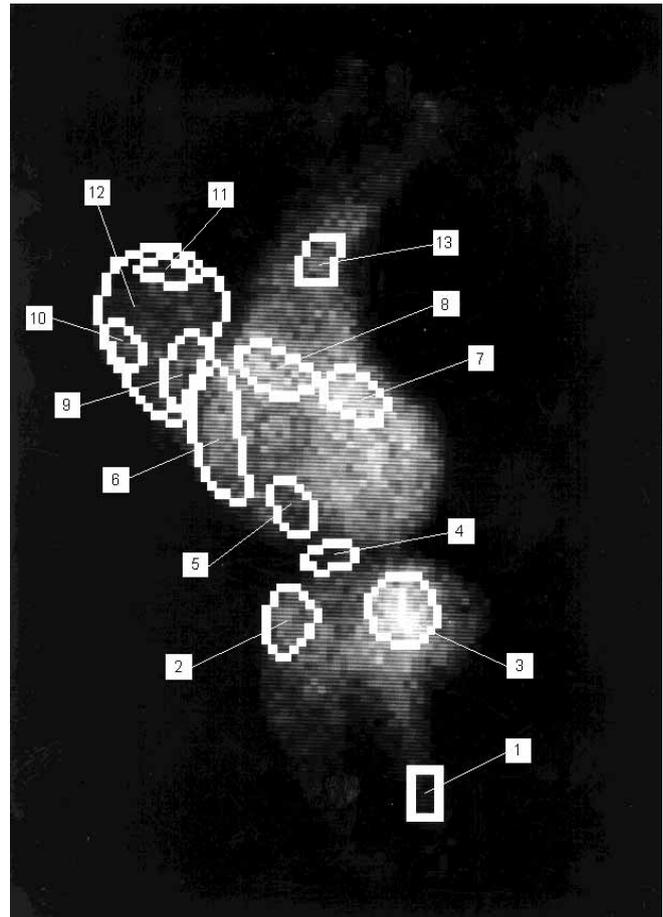


Abb. 1: Regions of interest (ROI) und ihre anatomische Zuordnung
ROI and their anatomical correlation

- ROI 1 Referenz-ROI: kaudale Substantia compacta des Tibiaschaffes
- ROI 2 Tuberositas tibiae, Ansatz der geraden Kniescheibenbänder
- ROI 3 Condylus lateralis tibiae
- ROI 4 Ansatz des kranialen Kreuzbands und der kranialen Meniskusbänder an der Tibia
- ROI 5 Fossa extensoria des Femur, Ursprung der Mm. extensor digitalis longus und fibularis tertius
- ROI 6 Trochlea lateralis ossis femoris
- ROI 7 Ansatz des kranialen Kreuzbands und des Lig. meniscofemorale am Femur
- ROI 8 Kranialer Teil der Wachstumsfuge des Femur
- ROI 9 Facies articularis patellae und Trochlea medialis ossis femoris
- ROI 10 Kraniodistaler Teil der Patella, Ursprung der Ligg patellae intermedium und laterale
- ROI 11 Basis patellae
- ROI 12 Patella gesamt
- ROI 13 Fossa supracondylaris ossis femoris, Ursprung der Mm. gastrocnemius und flexor digitalis superficialis

Nach Darstellung der fertigen Aufnahme auf dem Bildschirm und nach subjektiver Beurteilung in geringgradig = +, mittelgradig = ++ oder hochgradig = +++ vermehrte Anreicherung

Die Radiopharmakonzentration erfolgte die manuelle Festlegung der Regions of interest (ROI). Die gewählten ROI entsprechen den Lokalisationen des Kniegelenks, die erfahrungsgemäß immer wieder durch visuell erhöht erscheinende lokale Anreicherungen der Radioaktivität auffallen (Ueltschi 1998, persönliche Mitteilung). Sie sind in Abbildung 1 dargestellt und beziffert. ROI 1 in der kaudalen Substantia compacta des Tibiaschaftes diente als Referenzbereich, da an dieser Stelle gleichmäßige und in der Regel keine pathologisch veränderten Anreicherungen zu erwarten sind. Diese ROI 1 wurde konstant mit einer Größe von 35 Bildschirmpixel festgelegt. Der Rechner ermittelte dann von jeder ROI die Anzahl der Bildschirmpixel, die Gesamtzahl der eingegangenen Zerfallsereignisse (Counts) pro ROI (total Ct) und die durchschnittliche Anzahl an Counts pro Bildschirmpixel (av Ct). Die erhaltenen Daten wurden auf einen Personal Computer übertragen, mit Microsoft Excel für Windows 95, Version 7.0, weiterverarbeitet und die Quotienten av Ct der ROI 2 bis 13 / av Ct der ROI 1 und av Ct der ROI 7 / av Ct der ROI 8 bestimmt.

Die statistische Auswertung der aus den angeführten Quotienten errechneten Werte erfolgte mit dem Softwarepaket SAS System, Version 6.12. Mit Hilfe des t-Tests wurde überprüft, ob sich zwischen den über 5 Jahre alten Pferden der Gruppe I und den über 5 Jahre alten Pferden der Gruppe II signifikante Unterschiede hinsichtlich der ermittelten Werte ergeben. Als signifikant gilt ein $p < 0,05$. Anschließend erfolgte der Versuch, für die nach dem Ergebnis des t-Tests klinisch relevanten Quotienten jeweils einen Referenzbereich für gesunde Pferde anzugeben. Dazu dienten die Werte der über 5 Jahre alten Pferde aus der Gruppe I und die für die Angabe von Referenzbereichen übliche Formel $x + ks$, wobei x für den Mittelwert und s für die Standardabweichung steht. Als Toleranzfaktor k wurde der Wert 2 gewählt.

Ergebnisse

Werden die Quotienten der Pferde aus der Gruppe I gegen das Alter der Pferde in einem Diagramm aufgetragen, so fällt auf, dass die Werte mit Ausnahme der Quotienten av Ct der ROI 7 / av Ct der ROI 8 und av Ct der ROI 13 / av Ct der ROI 1 bis zu einem Alter von 5 Jahren stark abfallen. Dieser Zusammenhang ist für den Quotienten av Ct der ROI 3 / av Ct der ROI 1 in der Abbildung 2 wiedergegeben. Im Gegensatz dazu ergab sich beim Quotient av Ct der ROI 13 / av Ct der ROI 1 dieser Zusammenhang nicht. Die Werte des Quotienten av Ct der ROI 7 / av Ct der ROI 8 steigen dagegen bis zum 6. Lebensjahr tendentiell auf über 1 an. Aufgrund dieser offensichtlichen Altersabhängigkeit mussten die Gruppen I und II für den t-Test in die Altersklassen bis einschließlich 5 und älter als 5 Jahre unterteilt werden. Das Ergebnis des t-Tests ist in der Tabelle 3 wiedergegeben.

Aus dem t-Test ergibt sich, dass die Größe der Quotienten aus den av Ct der ROI 2, 4, 5, 6, 9, 10, 11 und 12 bei den klinisch kniekranken Pferden über 5 Jahre im Mittel signifikant höher ist als bei den klinisch kniegesunden der selben Altersgruppe. Die Quotienten aus den av Ct der ROI 3, 7, 8 und 13 unterscheiden sich dagegen nicht signifikant zwischen den Gruppen I und II.

Das gleiche gilt für das Verhältnis zwischen ROI 7 und ROI 8. Die Quotienten der av Ct von Gruppe I (über 5 Jahre alte Pferde), die sich nach den Ergebnissen des t-Tests signifikant von

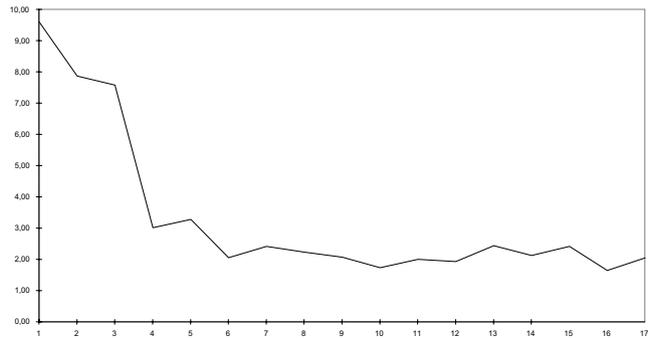


Abb 2: Quotienten av Ct der ROI 3 / av Ct der ROI 1 in Gruppe I
Quotients av Ct of ROI 3 / av Ct of ROI 1 in group I

denen der Gruppe II (über 5 Jahre alte Pferde) unterscheiden, wurden für die Bestimmung des Referenzbereichs verwendet. Das Ergebnis dieses Versuchs ist in Tabelle 4 dargestellt. Die Anzahl der Kniegelenke, bei denen einzelne Quotienten oberhalb des ermittelten Referenzbereichs liegen, beträgt für Gruppe I 2, für Gruppe II 12 und für Gruppe III 18, d.h. insgesamt 21,3%. Dabei sind nur die Pferde über 5 Lebensjahre berücksichtigt. Von den Kniegelenken der Pferde aus der Gruppe I ($n=71$) lagen von 11 Röntgenaufnahmen vor, die alle unauffällig wa-

Tab 3: Ergebnis des t-Tests – Vergleich zwischen über 5 Jahre alten Pferden der Gruppe I ($n=42$) und II ($n=36$), n.s. = nicht signifikant

T-test results – Comparison between horses older than 5 years of group I ($n=42$) and group II ($n=32$), n.s. = not significant

Quotienten	Mittel Gruppe I	Mittel Gruppe II	p
av Ct ROI 2/av Ct ROI 1	1,4745	1,9075	0,0032
av Ct ROI 3/av Ct ROI 1	2,0593	2,2003	n.s.
av Ct ROI 4/av Ct ROI 1	1,2105	1,4053	0,0037
av Ct ROI 5/av Ct ROI 1	1,6409	1,8783	0,0198
av Ct ROI 6/av Ct ROI 1	1,5669	2,0267	0,0010
av Ct ROI 7/av Ct ROI 1	1,8959	1,9414	n.s.
av Ct ROI 8/av Ct ROI 1	1,8359	1,9144	n.s.
av Ct ROI 9/av Ct ROI 1	1,6521	2,0358	0,0024
av Ct ROI 10/av Ct ROI 1	1,3667	1,6194	0,0141
av Ct ROI 11/av Ct ROI 1	1,5145	1,8478	0,0034
av Ct ROI 12/av Ct ROI 1	1,3464	1,5964	0,0033
av Ct ROI 13/av Ct ROI 1	1,3762	1,3900	n.s.
av Ct ROI 7/av Ct ROI 8	1,0374	1,0256	n.s.

ren. 41 dieser 71 Gelenke zeigten auf den szintigraphischen Aufnahmen keine subjektiv auffallenden erhöhten Anreicherungen des Radiopharmakons. Bei Gruppe II (n=51) existierten von 49 Kniegelenken Röntgenaufnahmen, von denen bei 23 kein besonderer Befund erhoben und bei 26 mindestens ein

Befunden hinsichtlich der Lokalisation in der Regel nicht. Die Verteilung der Bereiche subjektiv vermehrter Aktivität auf die verschiedenen ROI der einzelnen Gruppen ist in Tabelle 5 wiedergegeben. Dabei tauchen die einzelnen Gelenke meist mehrfach auf.

Tab 4: Referenzbereiche für die Quotienten der av Ct

Regions of reference for ratios of av Ct

Quotient	2/1	4/1	5/1	6/1	9/1	10/1	11/1	12/1
Mittel	1,4745	1,2105	1,6409	1,5669	1,6521	1,3667	1,5145	1,3464
Standardabweichung	0,4540	0,2471	0,3969	0,4330	0,5004	0,4470	0,3905	0,3288
p	0,0032	0,0037	0,0198	0,0010	0,0024	0,0141	0,0034	0,0033
Obere Grenze des Referenzbereichs	2,3826	1,7046	2,4348	2,433	2,6529	2,2607	2,2956	2,0041

krankhafter Befund festgestellt werden konnte. Die röntgenologische Untersuchung von 31 der insgesamt 85 Kniegelenke, die klinisch der Gruppe III zugeordnet wurden, ergab keine pathologischen Abweichungen. Alle szintigraphischen Kniegelenksaufnahmen der Gruppen II und III wiesen an mindestens einer Stelle subjektiv erhöht erscheinende Anreicherungen des Radiopharmakons auf. Die abnormen Befunde der Röntgenuntersuchung bei Gruppe II entsprachen den szintigraphischen

Tab 5: Anzahl der subjektiv als visuell erhöhte Aktivität auffallenden Bereiche pro ROI (+++ = hochgradig. ++ = mittelgradig und + = geringgradig erhöht)

Number of regions with visually more uptake per ROI

Gruppe I									
ROI	2	4	5	6	7	9	10	11	13
+	3			1	2	3		1	
++	3			3	12	1	1	2	2
+++									
Gruppe II									
ROI	2	4	5	6	7	9	10	11	13
+	3		2	3	2	4	1	2	
++	12			18	4	13	2	3	1
+++	9	1	1	10	2	5	2	4	1
Gruppe III									
ROI	2	4	5	6	7	9	10	11	13
+	5			5	3	5	3		1
++	13	1	1	19	12	20	14	11	2
+++	15			9	15	11	4	4	3

Diskussion

Die quantitative Messung der Radionuklid-Anreicherung in bestimmten Knochenabschnitten dient bei der Skelettszintigraphie der Objektivierung des visuellen Eindrucks bei deren Auswertung. Die Methode muss möglichst exakt, normierbar und reproduzierbar sein und die Definition eines Vergleichswertes beinhalten, der als stets normal bezeichnet werden kann (Anger 1977). Sie ermöglicht sowohl den direkten, objektiven Vergleich zwischen Individuen als auch verlässlichere Rückschlüsse auf die klinische Bedeutung von Bereichen abnormer Aktivität. Das Längenwachstum der am Kniegelenk beteiligten Röhrenknochen ist nach Hertsch 1980 beim Pferd im Alter von dreieinhalb Jahren beendet, d.h. alle Epiphysenfugen dieses Bereiches sind dann geschlossen. Dennoch dauert es bis zum Alter von 5 Jahren, bis sich die höhere Stoffwechselaktivität der Wachstumsfugen auf ein „Niveau des ausgewachsenen Tieres“ abgesenkt hat und das Knochenwachstum tatsächlich abgeschlossen ist. Nicht nur im Bereich der Fugen, sondern der gesamte Knochen und insbesondere das Spongiosagewebe der Epiphysen passt sich bei jungen Individuen wechselnden Belastungsverhältnissen wesentlich stärker an als dies bei ausgewachsenen Tieren der Fall ist, so dass bis zum Alter von 5 Jahren beim Pferd insgesamt ein höherer Knochenmetabolismus vorliegt (Ueltschi 1980). Diese Vorgänge spiegeln sich in den Ergebnissen der vorliegenden Studie wieder. Die ermittelten Werte der Quotienten av Ct der ROI 2 bis 12 / av Ct der ROI 1 fallen bis zu einem Lebensalter von 5 Jahren stark ab. Das bedeutet, dass die Differenz zwischen den av Ct der ROI 2 bis 12 und den av Ct der ROI 1, d.h. zwischen den Epiphysen bzw. der Patella und der Diaphyse der Tibia, bis zum 5. Lebensjahr rapide abnimmt. Dieser Zusammenhang ist für die ROI 3, 7 und 8 am deutlichsten ausgeprägt, da sie im Bereich der Wachstumsfugen liegen. Etwa ab dem 6. Lebensjahr liegt der Wert des Quotienten av Ct der ROI 7 / av Ct der ROI 8 tendentiell über 1, d.h. die av Ct der ROI 7 übersteigen in der Regel die der ROI 8. Dies deutet darauf hin, dass beim älter werdenden Pferd im Bereich der ROI 7 im Vergleich zur Umgebung eine relativ hohe Aktivität erhalten bleibt. Pferde bis zum fünften Lebensjahr müssen demnach bei der quantitativen Auswertung des Kniegelenkszin-

tigramms anders beurteilt werden als ältere. Die hier durchgeführte Statistik hinsichtlich des Vergleichs zwischen klinisch gesunden und pathologisch veränderten Kniegelenken bezieht sich nur auf die Pferde, die älter sind als fünf Jahre, weil insgesamt zu wenig jüngere Pferde einer szintigraphischen Untersuchung unterzogen wurden.

Die Abbildung 3 zeigt das Kniegelenk eines ausgewachsenen Pferdes mit szintigraphisch normalem Speichermuster. Die mit Abstand aktivste Stelle liegt im Bereich der ROI 3. In diesem Bereich weist die Tibia ihren breitesten Durchmesser auf und durch Summation der Zerfallereignisse erhöht sich die Aktivität. Zudem nimmt das Tibiaplateau nahezu die gesamte Gewichtsbelastung auf und unterliegt deshalb einem hohen Knochenumsatz. Schließlich ist dieser Bereich nur von wenig Weichteilen bedeckt und unterliegt deshalb so gut wie keiner Selbstabsorption. Die übrigen Knochenbereiche stellen sich in dieser Aufnahme mehr gleichmäßig dar. Die für die vorliegende Untersuchung ausgewählten ROI entsprechen den Bereichen, die bei der visuellen Auswertung von Kniegelenkszintigrammen immer wieder durch erhöhte Anreicherung des Radiopharmakons auffallen (Ueltschi 1998, persönliche Mitteilung). Um diese verstärkten Akkumulationen verschiedenen möglichen Krankheitsprozessen zuordnen zu können und somit eine höhere Spezifität zu erreichen, wurden zunächst die für die einzelnen ROI in Frage kommenden anatomischen Strukturen lokalisiert. Theoretisch sind auch außerhalb der genannten ROI pathologische Veränderungen mit abweichenden Anreicherungsmustern möglich (z.B. Frakturen oder iatrogene Insulte), jedoch sind dies sehr seltene Ereignisse.

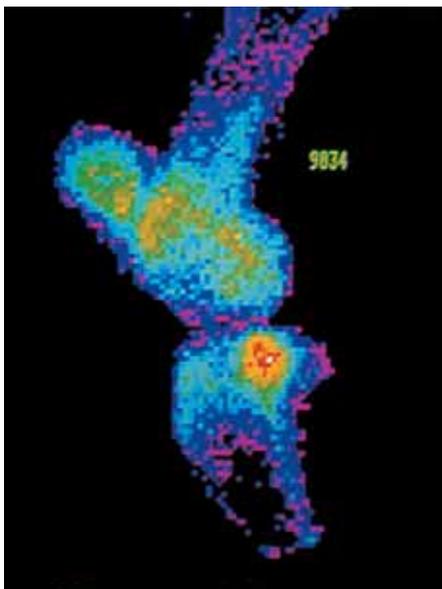


Abb. 3: Kniegelenksszintigramm mit normalem Speichermuster. Der Punkt maximaler Anreicherung liegt über dem Condylus lateralis tibiae.
Stifle scan showing normal tracer uptake. Point of maximal uptake over the Condylus Lateralis tibiae.

Aus den genannten Gründen wurde der t-Test nur mit den Werten der über fünf Jahre alten Pferde durchgeführt, bei denen klinisch eine eindeutige Zuordnung zu Gruppe I oder II möglich war. Es ergab sich, dass die klinisch kranken Kniegelenke

in den Bereichen der ROI 2, 4, 5, 6, 9, 10, 11 und 12 im Mittel das Radiopharmakon stärker anreichern als die klinisch gesunden. Dabei treten die Abweichungen der Werte der kranken Kniegelenke nur nach oben auf, d.h. es spielen nur positive Kontraste eine Rolle, negative Kontraste, d.h. verminderte Anreicherungen, erreichen offensichtlich keine Signifikanz. Bei den ROI 3, 7, 8 und 13 hängen demnach die Variationen des Aktivitätsaufkommens nicht davon ab, ob klinische Symptome einer Gonopathie vorliegen oder nicht. Dies gilt wiederum nur für die Mittelwerte, d.h. es ist möglich, dass lediglich zu wenig Fälle zur Verfügung standen, die in diesen Bereichen einen ausreichend deutlich erhöhten Knochenumsatz aufwiesen. Auch der Quotient ROI 7 / ROI 8 unterscheidet sich nicht signifikant zwischen Gruppe I und II. Welche Erkrankungen bei vermehrter Anreicherung im Bereich der einzelnen ROI in Frage kommen, kann nur im Rückschluss aus der klinischen Erfahrung und im Zusammenhang mit der anatomischen Lokalisation vermutet werden, weil die Bestätigung des pathologischen Prozesses mittels pathologisch-anatomischer bzw. -histologischer, arthroskopischer, sonographischer oder ähnlicher Untersuchungen fehlt.

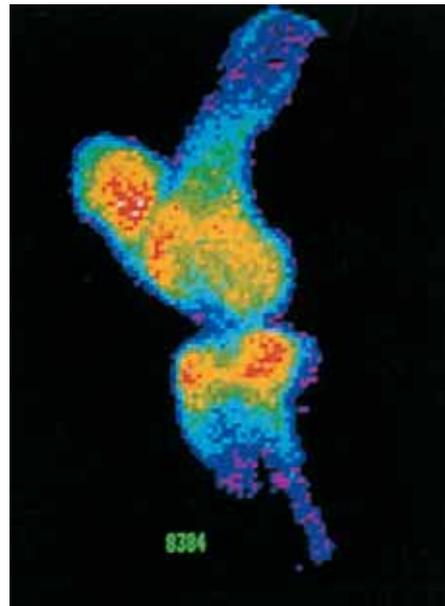


Abb. 4: Kniegelenksszintigramm mit verändertem Speichermuster. Der Punkt maximaler Anreicherung liegt nicht mehr im Bereich des Condylus lateralis tibiae, sondern in diesem Fall über der Facies articularis patellae (ROI 9).

Stifle scan showing abnormal tracer uptake. In this case the point of maximal uptake lies over the Facies articularis patellae (ROI 9).

Übermäßiger traumatischer Zug durch die an der Tuberositas tibiae ansetzenden Kniescheibenbänder führt zu einem meist nur partiellen Abriss in der Apophysenfuge (Stashak 1989). Diese schon röntgenologisch sichtbare Verletzung hat im Rahmen des reaktiven Heilungsprozesses eine erhöhte Osteoblastenaktivität zur Folge und lagert deshalb vermehrt radioaktive Tracer-substanz ein. Allerdings tritt sie sehr selten auf. Auch ist denkbar, dass weit weniger starke Insulte im Sinne von Rupturen und Reizungen einzelner Fasern in ihrer Verankerung im Knochen (Sharpeysche Fasern) zu erhöhtem Knochenumsatz und infol-

gedessen zu lokal vermehrter Anreicherung des Radiopharmakons führen (Holder 1993). Der Margo cranialis tibiae mit seiner Tuberositas liegt direkt unter der Haut und ist daher im Gegensatz zu anderen Knochenteilen des Kniegelenks, die durch eine mehr oder weniger dicke Muskelschicht bedeckt sind, Schlagverletzungen besonders ausgesetzt. Die nachfolgenden Knochenumbauprozesse, minimale intraossäre Blutungen oder Periostablösungen beginnen unmittelbar nach dem Insult und sind durch die Szintigraphie sehr früh nachzuweisen (Holder 1993). All diese Läsionen kommen in Betracht, wenn im Bereich der ROI 2 eine erhöhte Aktivität zu erkennen ist (Abb. 4). Dies ist relativ häufig der Fall und meist auch mit klinischer Symptomatik verbunden, da sich beim t-Test eine deutliche Signifikanz ($p=0,0032$) ergeben hat. Auch visuell fällt dieser Bereich bei vielen Kniegelenken der Gruppe II und III auf, bei denen der Gruppe I dagegen selten.

Wie bereits erwähnt, stellt die ROI 3 den Bereich dar, der bei der szintigraphischen Aufnahme eines gesunden Kniegelenks durch die insgesamt höchste Aktivität gekennzeichnet ist (Abb. 3). Wird diese Aktivität von anderen Regionen der am Kniegelenk beteiligten Knochen übertroffen, so ist ein deutlicher Hinweis auf einen pathologischen Prozess gegeben. Im Bereich der ROI 3 selbst ist z.B. im Falle einer Fraktur des lateralen Tibiakondylus eine Abweichung des Anreicherungsmusters denkbar. Diese seltene Läsion war im vorliegenden Patientengut nicht vertreten, und rein visuell fiel im Bereich dieser ROI in keinem Fall ein abnormes Speicherungsmuster auf.

Im Bereich der ROI 4 setzen die kranialen Meniskusbänder und das kraniale Kreuzband an der Tibia an. Zu den möglichen Verletzungen, die sich hier im Sinne erhöhter Osteoblastenaktivität durch vermehrte Anreicherung des Radiopharmakons bemerkbar machen können, zählen Avulsionsfrakturen der Bänderansätze an der Tibia, Risse, Zerrungen, Desmitis an der Insertionsstelle mit knöchernen Metaplasien, Meniskusverkalkungen am kranialen Pol und degenerative Gelenkveränderungen in Form von knöchernen Zubildungen. Einzelne Strukturen sind selten alleine betroffen, häufiger sind komplexe Verletzungen, die das kraniale Kreuzband, den medialen Meniskus und zusätzlich noch das mediale Kollateralband einbeziehen (Prades et al. 1989). Der laterale Meniskus ist nur selten verändert (Walmsley 1995). Metaplastische Ossifikationen, welche die kranialen Bänder allmählich einbezieht, sind ebenfalls v.a. am medialen Meniskus zu finden (Dietz und Wiesner 1982). Trotz des sehr seltenen Nachweises visueller Befunde an dieser Stelle (insgesamt nur zwei Fälle im untersuchten Patientengut) hat sich hinsichtlich des Unterschieds zwischen klinisch gesunden und kranken Kniegelenken eine deutliche Signifikanz ($p=0,0037$) ergeben.

Eine deutlich erhöhte Aktivität im Bereich der ROI 5 im Zusammenhang mit klinischer Symptomatik ist eher selten, da die ermittelten Werte der Gruppe 2 nur schwach signifikant ($p=0,0198$) über denen der Gruppe I liegen und visuell bei insgesamt nur 4 Fällen aufgefallen ist. Es ist denkbar, dass Zerrungen oder Avulsionen des Ursprungs des M. extensor digitorum longus oder M. fibularis tertius in der Fossa extensoria bzw. Metaplasien der Endsehnen dieser Muskeln, das klinische Korrelat einer vermehrten Anreicherung in ROI 5 sind. Über Avulsionsfrakturen des M. extensor digitorum longus aus der Fossa extensoria in Verbindung mit röntgenologisch sichtbaren knöchernen

Fragmenten in der lateralen Abteilung des Femorotibialgelenkes und Aufhellung in der Fossa extensoria berichteten Holcombe und Bertone 1994.

Folgende Läsionen des lateralen Femurrollkammes in Verbindung mit osteogener Aktivität sind bei vermehrter Anreicherung des Radiopharmakons im Bereich der ROI 6 (Abb. 4) denkbar: subchondrale Veränderungen im Rahmen der Osteochondrosis dissecans, Knorpelmetaplasien, Reizungen mit vermehrter Abnutzung des Knorpels bei proximaler Patellafixation oder ähnlichen Veränderungen der Mechanik des Femoropatellargelenkes und sekundäre arthrotische Knochenzubildungen. Die ROI 6 erreicht laut t-Test hinsichtlich des Unterschiedes der ermittelten Werte zwischen klinisch gesunden und kranken Kniegelenken die höchste Signifikanz ($p=0,001$) aller ROI. Außerdem ist die Anzahl der Kniegelenke, die durch eine visuell hoch erscheinende Aktivität im Bereich der ROI 6 gekennzeichnet sind, außer bei Gruppe I sehr hoch (insgesamt 68, davon 31 der Gruppe II). Dies spricht für eine sehr häufige szintigraphische Auffälligkeit des lateralen Femur-Rollkammes.

Im Bereich der ROI 7 strahlen das kraniale Kreuzband und das Lig. meniscofemorale an der interkondylären Fläche des Femur in das Knochengewebe ein. Jeffcott und Kold berichteten 1982 über Läsionen des kranialen Kreuzbandes in der Fossa intercondylaris des Femur, die in einem Fall mit Avulsionsfraktur an der Femurinsertion einherging. Bei solchen Verletzungen ist eine lokale Steigerung des Knochenmetabolismus zu erwarten. Ähnliche Insulte mit den gleichen Folgen sind beim Lig. meniscofemorale denkbar. Laut t-Test bestehen zwischen den klinisch gesunden und kranken Kniegelenken kein signifikanter Unterschied der errechneten Quotienten. Auch hier kann die Ursache im zu geringen Patientengut liegen. Bei der visuellen Beurteilung waren jedoch relativ viele Kniegelenke durch eine verstärkte Anreicherung in diesem Bereich auffällig. Dies war in Gruppe I (19,7%) häufiger der Fall als in Gruppe II (15,7%). Es stellt sich deshalb die Frage, ob es in dieser Region nicht allein schon durch normale Belastungsverhältnisse zur Erhöhung des Knochenumsatzes kommen kann. An dieser anatomischen Lokalisation trifft der Femurschaft auf die gewichtstragenden Kondylen und beschreibt dabei einen deutlichen Bogen. Die ermittelten Quotienten der ROI 7 und 8 sind besonders stark altersabhängig, da sie die distale Epiphysenfuge des Femur darstellen. Die ROI 8 ist nur im Hinblick auf das Alter und im Zusammenhang mit der ROI 7 interessant. Ab einem Alter von 5 Jahren reicht die Anzahl der av Ct der ROI 7 an die der av Ct der ROI 8 heran bzw. übersteigt diese. Dies stimmt mit oben ausgeführter Beobachtung überein, dass auch bei klinisch gesunden Kniegelenken im Bereich der ROI 7 eine im Vergleich zur Umgebung erhöhte Anreicherung der Tracersubstanz vorkommen kann.

Im Bereich der ROI 9 überlagern sich zwei Strukturen, die Facies articularis der Patella und der mediale Femurrollkamm. Veränderungen des medialen Rollkammes sind selten, können aber alle die Läsionen umfassen, die bereits für den lateralen Rollkamm bzw. für die ROI 6 dargelegt worden sind. Umschrieben vermehrte Anreicherung an dieser Stelle (Abb. 4) spricht eher für pathologische Prozesse an der Facies articularis patellae. Sie treten relativ häufig auf, weil sie sich oft sekundär infolge der durch Osteochondrose des lateralen Rollkammes ent-

standenen Gelenkinkongruenz, aber auch nach Störungen der Gelenkmechanik durch Veränderungen an den Kniescheibenbändern entwickeln (Foerner 1992). Sobald der subchondrale Knochen in den Prozess einbezogen ist, erhöht sich die Osteoblastenaktivität, und knochenaffine Tracer lagern sich vermehrt ein. Die klinisch kranken Kniegelenke zeigen laut Ergebnis des t-Tests signifikant ($p=0,0024$) höhere Werte als die der gesunden. Diese deutliche Signifikanz wird dadurch untermauert, dass der Bereich der ROI 9 bei Gruppe I (und III) visuell sehr häufig durch hohe Aktivität aufgefallen ist, wohingegen in der Gruppe I diese Region nur vereinzelt und dann nur geringgradig auffällig war.

Anreicherungen im Bereich der ROI 10 sind dagegen selten aufgetreten. Dies zeigte sich durch die relativ geringe Anzahl an hier visuell auffälligen Kniegelenken und an der schwachen Signifikanz ($p=0,0141$), die sich im t-Test ergeben hat. Zu den an dieser Stelle in Frage kommenden osteogenen Läsionen zählen Zerrung der Ligg. patellae intermedium und laterale an ihrem Patellaansatz, Metaplasien dieser Bandanteile und Schlagverletzungen. Die Kranialfläche der Patella liegt direkt unter der Haut und ist deshalb traumatischen Insulten von außen besonders ausgesetzt. So entstehen Frakturen, Fissuren oder nur periostale Reizungen, die mehr oder weniger schnell röntgenologisch sichtbar werden können.

Die Werte der errechneten Quotienten der ROI 11 liegen nach dem Ergebnis des t-Tests bei der Gruppe II signifikant über denen der Gruppe I ($p=0,0034$), wobei die ROI 11 rein visuell in Gruppe II (und III) relativ selten und in Gruppe I nur sehr vereinzelt durch starke Aktivität aufgefallen ist. Auch bei Betrachtung der Anzahl der av Ct der gesamten Patella (ROI 12) im Verhältnis zur Referenz-ROI 1 erhält man einen laut t-Test signifikanten Unterschied ($p=0,0033$) zwischen den Mittelwerten der Gruppen I und II. Das weist daraufhin, dass auch die quantitative Erfassung der Zählereignisse der gesamten Patella Hinweise auf einen pathologischen Prozess in diesem Bereich geben kann, was durch Messung der ROI 9, 10 und 11 näher spezifiziert werden kann.

Im Bereich der ROI 13 setzen die Mm. gastrocnemius und flexor digitalis superficialis am Femur an. Obwohl Avulsionen oder Zerrungen der Knochenansätze auch hier nicht auszuschließen sind, erreichen die Werte hinsichtlich des Unterschiedes zwischen den klinisch gesunden und kranken Kniegelenken nach dem t-Test keine Signifikanz. Da bei der visuellen Beurteilung der Szintigramme insgesamt sehr wenig Fälle aufgetreten sind, die an dieser Stelle eine auffällig erhöhte Aktivität aufwiesen, liegt wiederum die Vermutung nahe, dass das vorliegende Fallmaterial für eine Signifikanz nicht ausreichend war.

Es war nicht möglich, für die av Ct der Gruppe I (über 5 Jahre alte Pferde), die sich nach dem t-Test signifikant von denen der Gruppe II (über 5 Jahre alte Pferde) unterscheiden, verwendbare Referenzbereiche anzugeben, weil die Überschneidungen zwischen den klinisch gesunden und kranken Kniegelenken zu groß waren. 2 Kniegelenke der 42 aus Gruppe I zeigten Werte oberhalb der errechneten Grenze und nur 12 von 36 aus Gruppe II. Offensichtlich hat die Knochenszintigraphie eine zu hohe Sensitivität, um quantitativ eine klare Grenze zwischen normaler Anzahl an Zerfallereignissen und pathologischer Anreicherung des Radiopharmakons zu ziehen. Es ist

aber auch zu bedenken, dass die Fehlerquote, die sich durch die von vielen anderen Faktoren abhängige klinische Untersuchung und die nicht exakt zu standardisierende manuelle Definition der ROI ergeben hat, einen mehr oder weniger großen Beitrag zur Verwischung dieser Grenze geleistet hat. Interessant ist diesem Zusammenhang auch, dass nach den errechneten szintigraphischen Referenzbereichen 21,3% der über 5 Jahre alten Pferde der untersuchten Population klinisch relevante Läsionen am Kniegelenk aufwiesen. Vaughan 1965, der 835 Pferde mit Hinterhandslahmheiten oder Wirbelsäulenläsionen klinisch und röntgenologisch untersuchte, kam auf nur 7,5%. Die quantitative Auswertung des Kniegelenkszintigramms nach der dargestellten Technik ist demnach wesentlich sensibler, d.h. liegen die Werte unterhalb des Referenzbereichs, wird ein pathologischer Prozess in diesem Bereich äusserst unwahrscheinlich. Dagegen bleibt es ungewiss, ab welchem Wert eine oberhalb des Referenzbereiches liegende lokale Anreicherung klinisch in Erscheinung tritt. Aufgrund der hohen Sensitivität der szintigraphischen Untersuchung und in Verbindung mit den individuellen Besonderheiten erscheint es auch bei der Kniegelenkszintigraphie des Pferdes sinnvoll, die Aufnahmen im Vergleich zur kontralateralen Seite zu beurteilen. Dies gilt insbesondere beim Einsatz einer quantitativen Auswertungsmethode. Ebenso könnten Aufnahmen in mehreren Ebenen mehr Informationen bringen. Durch kaudale Aufnahmen ist eine Zuordnung des pathologischen Prozesses auf die laterale oder mediale Abteilung des Femorotibialgelenkes des Pferdes möglich (subchondrale Knochenzysten der Femurkondylen, arthrotische Knochenzubildungen, Meniskusverkalkungen). Interessant, wenn auch technisch schwierig, wäre eine szintigraphische Untersuchung des Kniegelenks von medial, weil zum einen die laterale Seite des Femorotibialgelenkes selten betroffen ist (Adams 1973) und zum andern mediale Strukturen bei der lateralen Aufnahme durch die große Knochenmasse des Gelenks überlagert bzw. nicht mehr klar differenziert werden können.

Die szintigraphische Untersuchung kann auch im Bereich des Kniegelenks in vielen Fällen pathologische Prozesse aufdecken, die der Diagnostik mittels anderer Verfahren entgangen sind. Sie kann dabei immer nur in Verbindung mit der klinischen Symptomatik und mit Befunden anderer bildgebender Verfahren in die diagnostische Triage Eingang finden, bietet aber als einzige Untersuchungsmethode ergänzende frühzeitige und hoch sensitive Informationen über die aktuelle lokale Stoffwechsellage des Knochens und seiner Anteile.

Literatur

- Adams O. R. (1973): Differential diagnosis of stifle lameness in horses. *Proc Am Assoc Equine Pract*, 19, 263–270
- Anger K. (1977): Möglichkeiten und Grenzen einer quantifizierenden Knochenszintigraphie. *Med Welt* 28, 61–67
- Chambers M. D., M. J. Martinelli, C. J. Baker, S. K. Kneller und A. R. Twardock (1995): Nuclear Medicine for diagnosis of lameness in horses. *J Am Vet Med Assoc* 206, 792–796
- Devous M. D. und A. R. Twardock (1984): Techniques and applications of nuclear medicine in the diagnosis of equine lameness. *J Am Vet Med Assoc* 3, 318–325

- Dietz O. und E. Wiesner (1982): Handbuch der Pferdekrankheiten für Wissenschaft und Praxis. Teil III 1982, S. Karger, Basel – München - Paris – London - New York – Sydney, 915–931
- Foerner J. J. (1992) in: Auer J. A.: Equine Surgery. Saunders 1992, Philadelphia et al., p. 844-984, 1068–1075
- Hertsch B. (1980): Die Ossifikationsvorgänge am Kniegelenk beim jungen Pferd. Zbl Vet Med 27, 279–289
- Hieber Nicole (1998): Über die Szintigraphie des Kniegelenkes beim Pferd. Dissertation Universität Bern 1998
- Holcombe S. J. und A. L. Bertone (1994): Avulsion fracture of the origin of the extensor digitorum longus muscle in a foal. J Am Vet Med Assoc 204, 1652–1654
- Holder L. E. (1993): Bone scintigraphy in skeletal trauma. Rad Clin North Am 31, 739–781
- Lamb C. R., P. D. Koblik, M. W. O'Callaghan und J. C. Mariner (1988): Comparison of bone scintigraphy and radiography as aids in the evaluation of equine lameness. Proc Am Assoc Equine Pract 34, 359–379
- Nickel R., A. Schummer und E. Seiferle (1984): Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band 1 (Bewegungsapparat), 5. Auflage, Paul Parey, Berlin – Hamburg
- Prades Marta, B. D. Grant, T. A. Turner, A. J. Nixon und M. P. Brown (1989): Injuries to the cranial cruciate ligament and associated structures: summary of clinical, radiographic, arthroscopic and pathological findings from 10 horses. Equine Vet J 21, 354–357
- Stashak T. S. (1989): Adams Lahmheit bei Pferden. 4. Auflage, Schaper, Alfeld, Hannover
- Ueltschi G. (1975): Erste Ergebnisse von szintigraphischen Skelettuntersuchungen bei Pferden mit ^{99m}Tc-Phosphatverbindungen. Schweiz Arch Tierheilk 117, 383–392
- Ueltschi G. (1980): Die Skelettszintigraphie beim Pferd. Habilitationsschrift, Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Bern
- Ueltschi G. (1988): Die Szintigraphie in der Lahmheitsdiagnostik. DVG-Tagungsberichte 1988, 5–9
- Vaughan J. T. (1965): Analysis of lameness in the pelvic limb and selected cases. Proc Am Assoc Equine Pract 11, 223–241
- Walmsley J. P. (1995): Vertical tears of the cranial horn of the meniscus and its cranial ligament in the equine femorotibial joint: 7 cases and their treatment by arthroscopic surgery. Equine Vet J 27, 20–25
- Dr. Nicole Hieber
Düwellstraße 15
D 85354 Freising
- Prof. Dr. G. Ueltschi
Abteilung Klinische Radiologie
Departement für klinische Veterinärmedizin
Universität Bern
Länggassstr. 124
CH 3012 Bern
Tel.: 0041 31 631 22 43