

© Springer-Verlag 1989

Ultraschallartefakte bei der Meniskussonographie

U. Malzer, E. Feltes, P. Schuler und P. Griss

Klinik für Orthopädie (Leiter: Prof. Dr. P. Griss), Zentrum für Operative Medizin II
der Philipps-Universität Marburg/Lahn

Artificial effects in ultrasonography of the knee menisci

Summary. Ultrasonography is sometimes considered a simple and valid method of detecting injuries of the knee menisci. Experimental studies of ultrasonographic reflections of our knee-joint model show that there are a variety of artificial effects that can cause diagnostic errors. The isolated bones of a human cadaver knee were investigated by ultrasound and the specific reflections on the joint surfaces studied. We found a lot of echo effects that can severely affect ultrasonographic examination of the knee menisci. Ultrasonography of the menisci requires a good knowledge of the possible aberrant reflections to avoid misinterpretation of the sonographic findings. The scanner's frequency and focusing have a big influence on the quality of sonographic imaging.

Key words: Human menisci - Ultrasonic diagnosis - Diagnostic errors - Knee injury diagnosis.

Zusammenfassung. Die Sonographie wird von einigen Autoren als ein einfaches und aussagekräftiges Verfahren zur Diagnostik von pathologischen Veränderungen der Kniegelenkmenisken bezeichnet. Das experimentelle Studium von Ultraschallreflexionen am künstlichen Kniegelenkmodell zeigt jedoch eine Vielfalt möglicher Störfaktoren, welche die Bildgebung beeinflussen können. Ein isoliertes menschliches Leichenknie sowie ein künstliches Modell des menschlichen Kniegelenkspaltes wurden sonographisch untersucht und das Reflexionsverhalten der Ultraschallimpulse an den Gelenkoberflächen studiert. Hierbei wurden z.T. ausgeprägte Ablenkungseffekte beobachtet, welche für das Auftreten von Artefaktbildern in Projektion auf den Gelenk-

spalt verantwortlich gemacht werden können. Insbesondere in der Sonographie der Kniegelenkmenisken scheint deshalb eine genaue Kenntnis möglicher Reflexionen am knöchernen Gelenkspalt für die richtige Interpretation sonographischer Befunde von besonderer Wichtigkeit zu sein. Die Fokussierung der verwendeten Applikatoren hat entscheidenden Einfluß auf die Bildqualität der erstellten Sonogramme.

Schlüsselwörter: Kniegelenk - Sonographie - Meniskus - Artefakt - Diagnostik.

Die Sonographie der Kniegelenkmenisken wird seit einiger Zeit an verschiedenen Kliniken praktiziert. Erste größere Untersuchungen über die klinische Wertigkeit des Verfahrens wurden von Sohn et al. [14, 16, 17] veröffentlicht. Sohn berichtet, die Darstellung des Meniskus und seiner Läsionen sei „sonographisch problemlos möglich“ [20] und fand eine hohe Übereinstimmung zwischen sonographischem und arthroskopischem Bild.

Während unserer eigenen Beschäftigung mit der Meniskussonographie wurden dagegen immer wieder Befunde erhoben, welche durch die Sonoanatomie des menschlichen Kniegelenks nicht oder nur unzureichend erklärbar waren [8]. Die Verwendung von Schallköpfen verschiedener Sendefrequenz, Abstrahlcharakteristik und Fokussierung führte zu unterschiedlichen Ergebnissen, die hohe Trefferquote von Sohn war jedoch nie reproduzierbar.

Von den meisten Autoren wird der 7,5-Mhz-Sektorscan als geeigneter Schallkopf für die Meniskussonographie empfohlen [2, 3, 14]. Dennoch finden sich in der Literatur [6, 9] immer noch Darstellungen mit Linearapplikator und anderer Sendefrequenz (zumeist 5 Mhz), da diese in der Routinediagnostik am Bewegungsapparat (Schulter, Säuglingshüfte etc.) häufiger eingesetzt werden. Deswegen gilt es zu überprüfen, inwieweit Abstrahlcharakteristik und

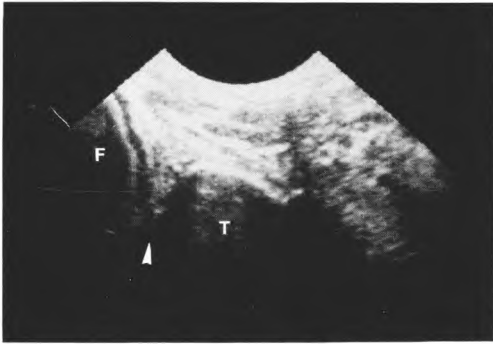


Abb. 1. Sonogramm eines Leichenknies nach basisnaher Resektion des Meniskus. Im Gelenkspalt stellt sich ein dreieckförmiges Echomuster dar (Pfeil). FF Femur, TT Tibia

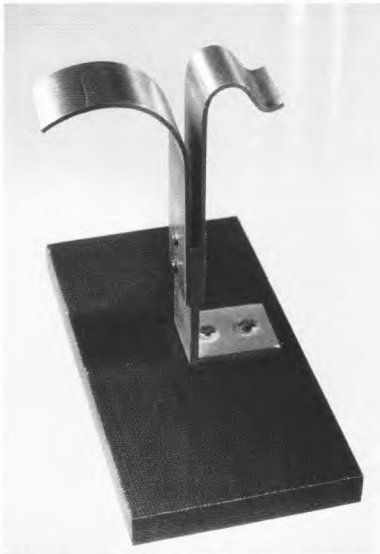


Abb. 2. Konturmodell des dorsalen Kniegelenkspaltes

Sendefrequenz das Auftreten von Reflexionsartefakten beeinflussen.

Darüber hinaus liegen Berichte und Erfahrungen vor, daß bei bestimmten Läsionstypen (vor allem beim luxierten Korbhenkelriß) die Läsion selbst häufig nur schwer darstellbar ist und damit der sonographischen Diagnostik entgehen kann [3].

Auch unsere eigenen Voruntersuchungen hatten z. T. zu überraschenden Befunden geführt: Ein Leichenknie zeigte nach totaler Meniskektomie im Ultraschallbild ein relativ homogenes dreieckförmiges Echomuster in Projektion auf den Kniegelenkspalt, wie man es ebensogut beim Vorliegen eines intakten Meniskus finden kann (Abb. 1).

Für das bessere Verständnis solcher und anderer sonographischer Effekte führten wir deshalb experimentelle Untersuchungen am isolierten knöchernen Kniepräparat sowie am künstlichen Modell durch.

Material und Methode

Ein menschliches Leichenknie wurde unter Belassung des Kreuzbandapparates bis auf den Knochen freipräpariert und anschließend im Wasserbad sonographisch untersucht (7,5-MHz-Linear- und -Sektorscan).

Anschließend wurden sowohl das Kniepräparat als auch ein Aluminiummodell (Abb. 2) mit einer dem dorsalen Kniegelenkspalt ähnlichen Kontur einer schlierenoptischen Untersuchung unterzogen.

Der Aufbau einer Schlierenoptik ist in Abb. 3 dargestellt: Ein Wasserbad wird von einer seitlich angebrachten Stroboskoplichtquelle beleuchtet. Zwei Sammellinsen bündeln das Licht so, daß es annähernd parallel durch das Wasserbad verläuft und danach in einem Brennpunkt vereinigt wird. Im Brennpunkt befindet sich ein kleiner lichtundurchlässiger Fleck, so daß die Kamera am anderen Ende der Anordnung im Ruhezustand kein Licht empfängt. Erzeugt der Schallkopf jedoch Druckwellen, welche die Dichte und damit die optische Brechkraft des Wassers verändern, wird das Licht am Fleck vorbeigelenkt und jetzt für die Kamera sichtbar. Durch die Synchronisation des Stroboskops mit der Schallfrequenz kann der Ultraschallimpuls jetzt als stehender Lichtpunkt dargestellt werden. Ein kontinuierliches leichtes Versetzen der Synchronisation läßt den Lichtpunkt „wandern“ und macht damit den Verlauf des Ultraschallimpulses sichtbar.

Für die Bereitstellung der schlierenoptischen Anlage danken wir der Fa. Siemens (Erlangen).

Ergebnisse

In Abb. 4 wurde ein bis auf Knochen und Gelenkknorpel freipräpariertes Kniegelenk im Wasserbad mit dem Linearscan (7,5 Mhz) geschallt. Zwischen den knöchernen Konturen von Tibia und Femur zeigt sich ein homogenes Echomuster. Bei genauerer Betrachtung lassen sich 2 schweiförmige Echomuster unterscheiden, welche von den knöchernen Konturen von Tibia und Femur ausgehen und in die Gelenkspaltbasis hineinreichen. Es handelt sich um sog. Bogenartefakte, welche dadurch entstehen, daß an den stark reflektierenden Grenzflächen der Knochenkonturen auch schwächere Ausläufer der Schallfelder benachbarter Impulse reflektiert und dadurch bildgebend werden [5].

Abb. 5 zeigt dasselbe Gelenk bei der Untersuchung mit einem Sektorscan mit einer Sendefrequenz von 7,5 Mhz. Im Gegensatz zur vorherigen Anordnung kommen hier weniger Bogenartefakte zur Darstellung. Stattdessen beobachtet man nun sehr starke Wiederholungsechos von Tibia und Femur. Diese projizieren sich überwiegend in den Schallschatten der Knochen und können somit leicht als Artefakte identifiziert werden. Bei entsprechender Stellung des Schallkopfs zum Gelenk können die artefiziellen Echos jedoch auch im Gelenkspalt selbst zur Darstellung kommen und im Fall einer klinischen Untersuchung im Spitzenbereich des Meniskus eine hyperdense Formation vortäuschen.

Bei der schlierenoptischen Untersuchung des Gelenkspaltmodells (Abb. 6) wird zunächst der einfache Fall einer rechtwinkligen Einfallsrichtung des Ultraschallimpulses demonstriert: Der Impuls wird zum größten Teil reflektiert und ohne jede Ablenkung an den Schallkopf zurückgeworfen. Ein kleinerer Anteil (beim Knochen ca. 40%) transmittiert die knöchernen Grenzfläche.

Komplizierter werden die Verhältnisse bei etwas schrägem Auftreffen des Signals: Der Impuls wird

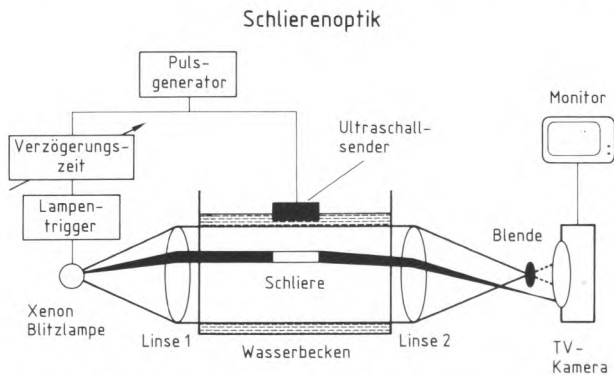


Abb. 3. Schema der Schlierenoptik. Die Schlierenoptik macht sich die Tatsache zunutze, daß ein einfallender Ultraschallimpuls die Dichte und damit die optische Brechkraft des Wassers verändert. Durch eine geschickte optische Anordnung und die Synchronisation einer Stroboskopbeleuchtung mit der Anregungsfrequenz des Transducers können Ultraschallimpulse sichtbar gemacht und das Fokussierungs- und Reflexionsverhalten der Impulse an akustischen Grenzflächen studiert werden

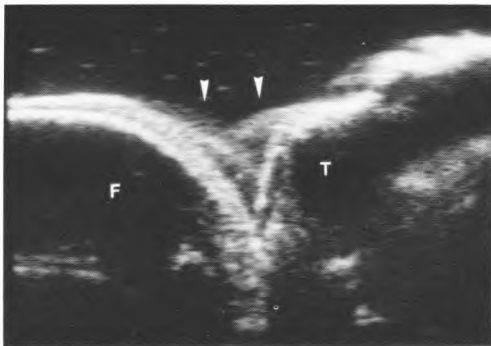


Abb. 4. Knöchernes Kniepräparat im Wasserbad (7,5-MHz-Linear-Scan). Die Pfeile zeigen 2 Bogenartefakte, welche in den Gelenkspalt hineinragen. FFemur, TTibia

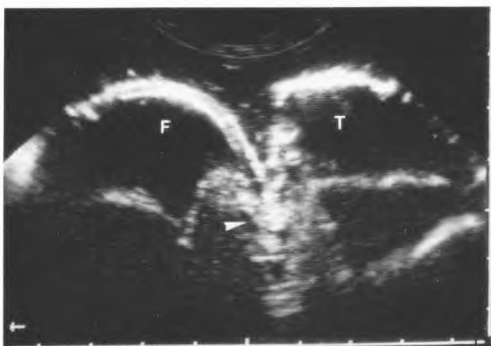


Abb. 5. Knöchernes Kniepräparat im Wasserbad (7,5-MHz-Sektor-Scan). Starke Wiederholungsechos mit vermehrter Echogenität in der Tiefe des Gelenkspaltes (Pfeil)

entsprechend dem Reflexionsgesetz im Einfallswinkel zurückgeworfen und bildet eine neue Wellenfront. Wenn diese am Schallkopf vorbeireflektiert wird (Abb. 7), entsteht das Bild einer sog. Pseudour.

Erreicht sie jedoch nach weiteren Reflexionen den Schallkopf, erzeugt sie ein tieferliegendes Artefaktecho, da der Bildcomputer im Ultraschallgerät aus der nun verlängerten Laufzeit des Echos eine falsche Tiefenzuordnung errechnet (Abb. 8). Im un-

günstigsten Fall können sogar mehrere Wellenfronten entstehen. Hierbei kommt es zu völlig unkalkulierbaren Reflexmustern, welche die Auswertung des errechneten B-Bildes erheblich erschweren (Abb. 9; hier ließen sich mindestens 4 Wellenfronten nachweisen).

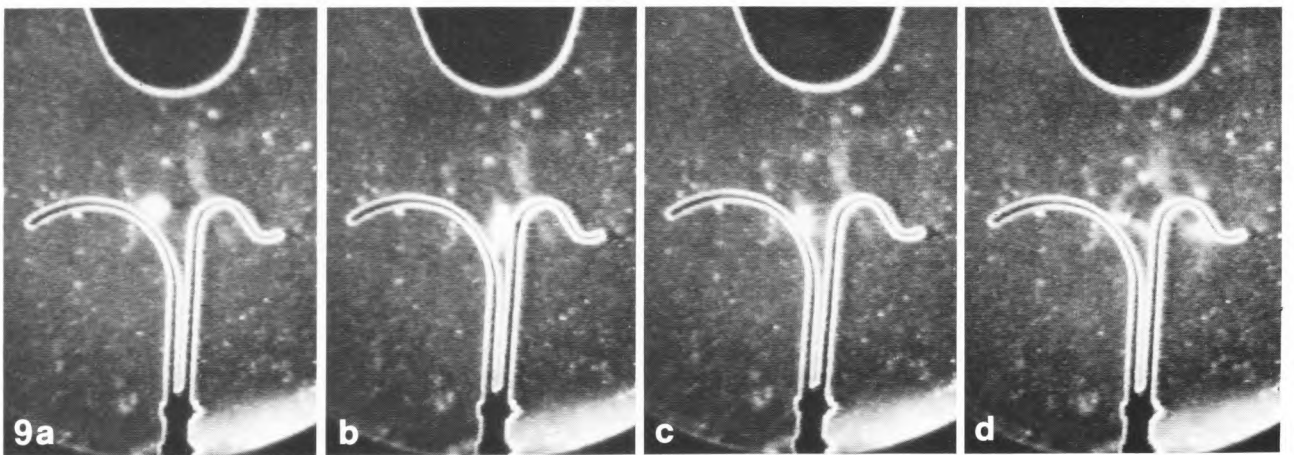
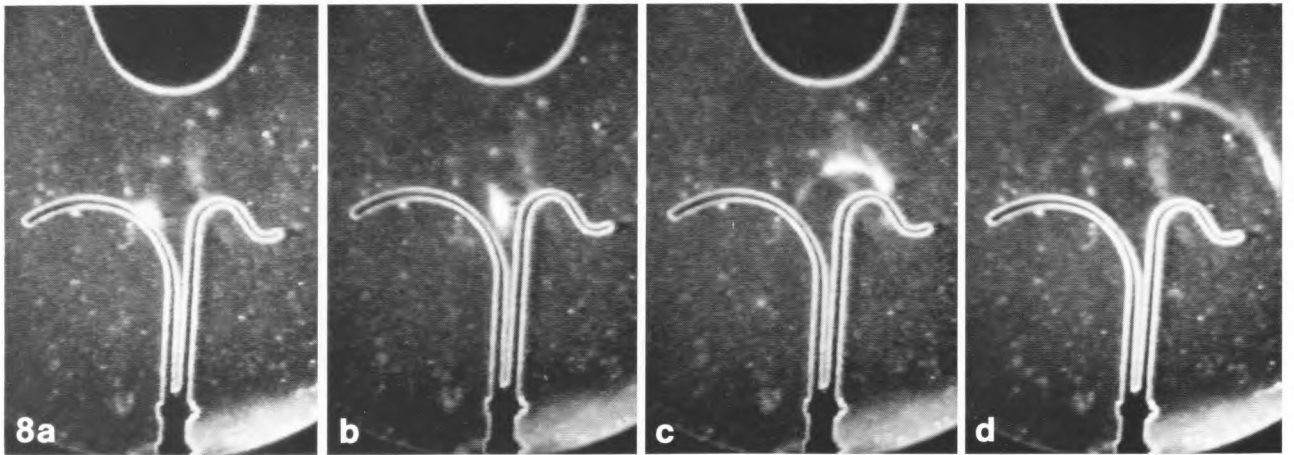
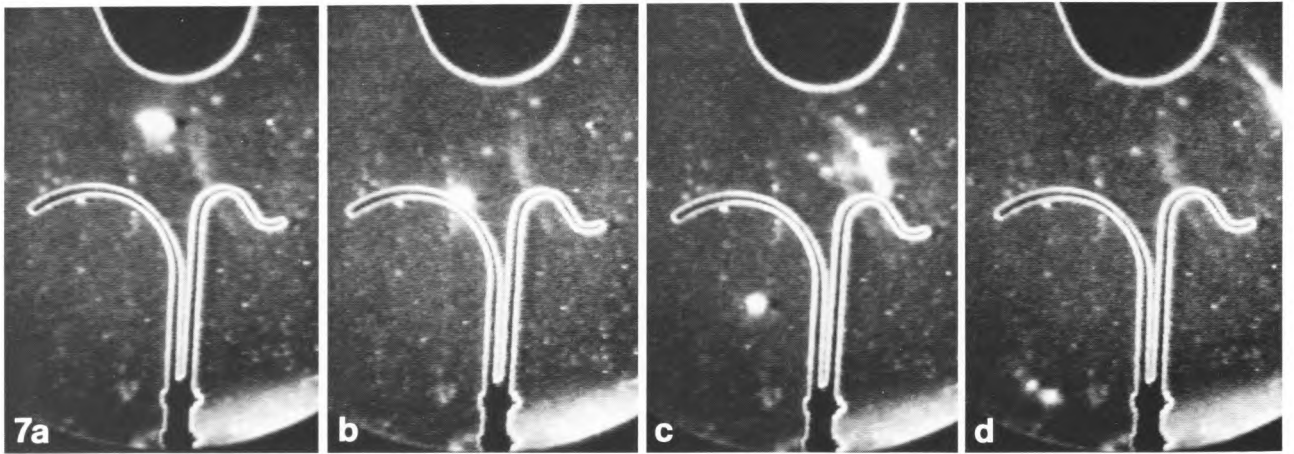
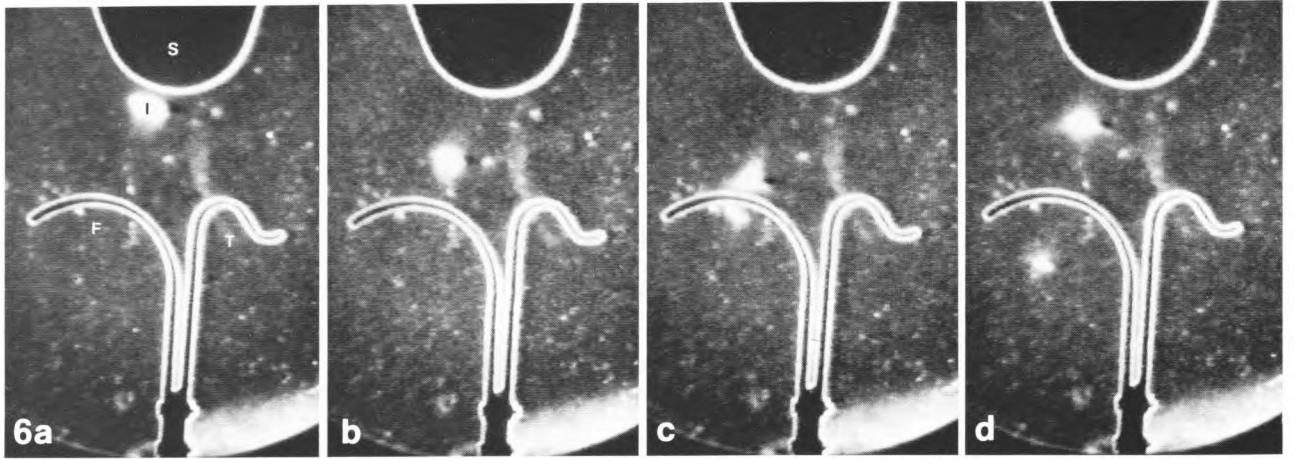
In Abb. 10 ist ein Impuls dargestellt, welcher nahezu orthograd in den Gelenkspalt einfällt. Er wird an den Grenzflächen mehrfach im flachen Winkel reflektiert, verläuft aber insgesamt relativ ungehindert in die Tiefe des Gelenks. Durch den flachen Reflexionswinkel entstehen nur geringe Laufzeitverlängerungen, welche u. E. klinisch wenig ins Gewicht fallen dürften.

In Abb. 11 wurde durch Verwendung eines Einzelschallkopfs ein schlecht fokussiertes Sendesignal simuliert. Während der zentrale Impulsanteil in das Gelenk eindringen kann, werden die Randanteile reflektiert. Es entstehen wieder mehrere Wellenfronten, von denen jede zum Ausgangspunkt eines störenden Reflexionsartefakts werden kann. Das Entstehen solcher Artefakte kann dadurch verringert werden, daß der Ultraschallimpuls beim Eintritt in das Gelenk gut fokussiert ist, so daß möglichst wenige Randanteile an knöchernen Konturen reflektiert werden.

Diskussion

Bei der sonographischen Untersuchung des dorsalen knöchernen Kniegelenkspaltes kann eine Vielfalt von Reflexionsartefakten erzeugt und dargestellt werden. Hiervon ausgehend lassen sich allgemeine Ultraschalleffekte beschreiben, welche bei der Sonographie an knöchernen Grenzflächen von Bedeutung sein können:

- Durch die Reflexion an einer konvex gekrümmten Oberfläche entsteht aus einem ursprünglich eng fokussierten Ultraschallimpuls eine breite Wellenfront. Diese weitet sich ungerichtet kugelförmig aus und kann dadurch Nachbarstrukturen in falscher räumlicher Zuordnung zur Darstellung bringen.
- Liegen 2 knöchernen Grenzflächen besonders eng beieinander, so entstehen Mehrfachreflexionen, welche zu Laufzeitfehlern führen. Es resultiert eine Bildgebung mit falscher Tiefenzuordnung der empfangenen Echos.
- Die genannten Effekte erhöhen darüber hinaus das allgemeine Hintergrundrauschen auf Kosten des Nutzsignals. Tiefliegende oder wenig echogene Strukturen werden schwächer oder gar nicht dargestellt (z. B. Meniskusspitze im Falle des Kniegelenks).
- Bei schlechter Fokussierung werden am Eintritt in das Gelenk die Randanteile eines Impulses an knöchernen Kanten reflektiert, während der zentrale Anteil in das Gelenk eindringen kann. Hieraus läßt



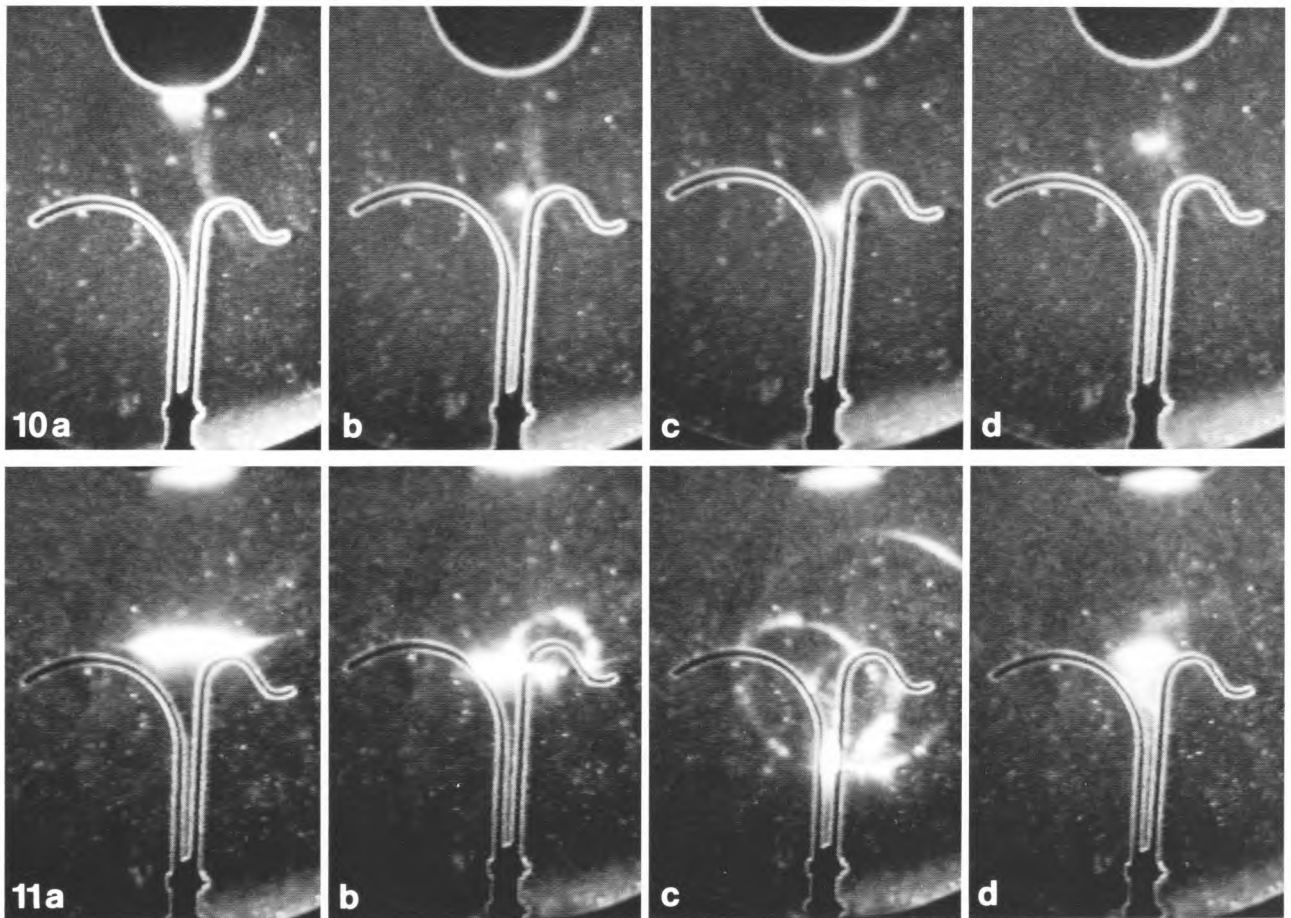


Abb. 10 a-d. Orthograder Einfall des Impulses in das Gelenk. Im letzten Bild hat der reflektierte Impuls das Gelenk bereits wieder verlassen

Abb. 11 a-d. Einzelschallkopf mit schlechter Fokussierung. Ausgeprägte Kanteneffekte

sich die Forderung nach gut fokussierten Schallköpfen für die Arthrosonographie ableiten.

- Auch die Fokustiefe ist von Bedeutung: Der Sendeimpuls sollte beim Eintritt in das Gelenk maximal gebündelt sein, um die oben aufgeführten Kanteneffekte zu minimieren. Selbstverständlich hat die Fokustiefe jedoch nichts mit dem Eindring-

Abb. 6 a-d. Schlierenoptik. Senkrechter Auffall des Impulses auf die Femuroberfläche. S Schallkopf, I Sendeimpuls, F entspricht Femuroberfläche, T entspricht Tibiaoberfläche (vgl. Text)

Abb. 7 a-d. Schräges Auftreffen des Sendeimpulses. Das Echo wird rechts am Schallkopf vorbeireflektiert

Abb. 8 a-d. Schräges Auftreffen des Impulses. Das Echo erzeugt an der Tibiakante (rechts) eine bogenförmige Wellenfront

Abb. 9 a-d. Schräges Auftreffen des Impulses mit Mehrfachreflexion

vermögen der Ultraschallimpulse zu tun. Diese ist von der Sendeenergie und der Schallfrequenz abhängig.

- Die zuvor beschriebene Problematik der Bogenechos am Eingang des Gelenkspaltes (s. Abb. 4) hat Auswirkungen auf die sonographische Beurteilung von Degenerationsherden. Eine vermehrte Echogenität der Meniskusbasis sollte u. E. nicht voreilig als Degeneration beschrieben werden, da insbesondere bei der Verwendung von Linearapplikatoren eine Verwechslungsmöglichkeit mit diesen Artefaktechos besteht.

Die Sonographie der Kniegelenkmenisken wird von einigen Autoren als leicht durchzuführendes Untersuchungsverfahren bezeichnet. Bauer [3] vertritt die Auffassung: „Alle Meniskusanteile können damit gut eingesehen werden“ und Sohn [17] berichtet: „Die sonographische Darstellung des Meniskus und seiner Läsionen gelingt vorzüglich“.

Unsere eigene Erfahrung hat dagegen gezeigt, daß sowohl die anatomischen Gegebenheiten als auch das Reflexionsverhalten des Ultraschalls am knöchernen Gelenkspalt zu Schwierigkeiten bei der Bildinterpretation führen können: Untersucht man Patienten mit unterschiedlich dickem Weichteilmantel, so liegt der Fokus zwangsläufig nicht immer im

optimalen Bereich, was sich auf die Abbildungsgüte sicherlich auswirkt. Im Falle der Pars intermedia liegen die knöchernen Strukturen besonders eng beieinander und zudem sehr nahe unter der Hautoberfläche. Die Verwendung einer Vorlaufstrecke kann hierbei den Eintritt des Gelenkspaltes in die Fokuszonen rücken, sie verringert jedoch den „optischen Aufklappeffekt“ des Sektorschallkopfs und verspielt somit einen Teil seiner besseren Abbildungseigenschaften. Im Vorderhornbereich finden sich entgegengesetzte Verhältnisse: der Meniskus liegt in der Tiefe des Gelenks. Die Schallenergie reicht für eine zufriedenstellende Meniskusdarstellung oft nicht aus. Als Ergebnis dieser Effekte beobachten wir häufig eine schlechtere Beurteilbarkeit von Vorderhorn und Pars intermedia, was auch von anderen Autoren beschrieben wurde [7, 9].

Anders als etwa bei der Sonographie des Abdomens erzeugt das enge Nebeneinanderliegen knöcherner Oberflächen bei der Kniegelenksonographie Befunde, welche eine Trennung zwischen anatomischer Struktur und artefiziell Bild erschweren können. Die Auswahl geeigneter Schallköpfe gewinnt besondere Bedeutung, da durch eine den Verhältnissen angepaßte Fokussierung und die gewählte Abstrahlcharakteristik (Linear-Sektor) die Bildgebung entscheidend beeinflußt wird. Für die diagnostische Aussagekraft von erhobenen Befunden ist also nicht nur die genaue anatomische Kenntnis des Untersuchers, sondern auch sein Wissen um mögliche Artefaktbildungen von besonderer Wichtigkeit.

Die Tatsache, daß Meniskusläsionen prinzipiell sonographisch darstellbar sind, sollte nicht darüber hinwegtäuschen, daß der sichere und reproduzierbare Nachweis solcher Verletzungen nur in einem Teil der Fälle einwandfrei gelingt.

Literatur

1. Bauer G, Burri W, Swobodnik W, Rübenacker S (1987) Meniskussonographie. *Dtsch Z Sportmed* 38: 74-80
2. Bauer G, Rübenacker S (1988) Sonographische Meniskusdarstellung: Welcher Schallkopf ist geeignet? *Ultraschall* 9: 48-51
3. Bauer G, Swobodnik W (1988) Meniskussonographie - Technik und vorläufige Ergebnisse. In: Frank W, Eyb R (Hrsg) *Die Sonographie in der Orthopädie*. Springer, Wien New York, S 57-62
4. Dragonat P, Claussen C (1980) Sonographische Meniskusdarstellungen. *RÖFO* 133: 185-187
5. Graf R, Schuler P (1988) *Sonographie am Stütz- und Bewegungsapparat bei Erwachsenen und Kindern: Lehrbuch und Atlas*. Edition Medizin VCH, Weinheim
6. Hinzmann J, Behrend R, Heise U (1989) *Synopsis sonographischer Diagnostik in der Orthopädie*. *Dtsch Ärztebl* 86: 1147-1149
7. Kahle W, Gerngroß H, Fink F (1988) Die Sonographie des Kniegelenkes zur Darstellung von Meniskusläsionen. In: Frank W, Eyb R (Hrsg) *Die Sonographie in der Orthopädie*. Springer, Wien New York, S 63-67
8. Malzer U, Kienapfel H, Schuler P (1988) Möglichkeiten und Grenzen der sonographischen Darstellung des Meniskus und angrenzender Strukturen am Kniegelenk. *Ultraschall Klin Prax* 3: 141-145
9. Röhr E (1988) *Kniegelenksonographie*. Thieme, Stuttgart New York
10. Sattler H, Gerhold H (1984) Die Arthrosonographie - ein neues zusätzliches bildgebendes Verfahren in der Erfassung von Erkrankungen des Kniegelenkes. *Z Rheumatol* 43: 160-166
11. Selby B, Richardson ML, Montana MA, Teitz CC, Larson RV, Mack LA (1986) High resolution sonography of the menisci of the knee. *Invest Radiol* 21: 332-335
12. Selby B, Richardson ML, Nelson BD, Graney DO, Mack LA (1987) Sonography in the detection of meniscal injuries of the knee: evaluation in cadavers. *AJR* 149: 549-553
13. Sohn C, Casser HR (1988) *Meniskussonographie*. Springer, Berlin Heidelberg New York
14. Sohn C, Casser HR (1988) Die sonographische Darstellung des Meniskus. *Ultraschall Klin Prax* 3: 190-197
15. Sohn C, Eggers R (1988) Die Sonographie des Meniskus - Klinische Erfahrungen und technische Aspekte. In: *Jahrbuch der Orthopädie*. Regensburg & Biermann, Münster
16. Sohn C, Gerngross H, Bähren W, Danz B (1987) Meniskussonographie - Alternative zur invasiven Meniskusdiagnostik? *Dtsch Med Wochenschr* 112: 581-584
17. Sohn C, Gerngross H, Bähren W, Swobodnik W (1987) Sonographie des Meniskus und seiner Läsionen. *Ultraschall Med* 8: 32-36
18. Sohn C, Gerngross H, Griesbeck F (1987) Wertigkeit, Technik und klinische Anwendung der Meniskussonographie. *Unfallchirurg* 90: 173-179
19. Sohn C, Gerngross H, Meyer P, Sohn G (1987) Meniskussonographie. Aussagekraft und Treffsicherheit im Vergleich zur Arthrographie und Arthroskopie oder Operation. *Fortschr Med* 105: 81-85
20. Sohn C, Sohn G, Gerngross H (1988) Meniskussonographie - ein neues Verfahren zur nicht-invasiven Meniskus-Diagnostik. *Orthop Praxis* 11: 696-700

Dr. U. Malzer
Klinik für Orthopädie
Zentrum für Operative Medizin II
der Philipps-Universität
Baldingerstraße
D-3550 Marburg/Lahn