

Abb. 17.57 Morbus Paget des 5. Lendenwirbelkörpers. 52-jähriger Mann.

- a In der CT.
- b In der MRT T1 hypointense Darstellung durch fast vollständige Verdrängung des Fettmarks.
- c Minimale Signalsteigerung in der MRT TIRM T2.
- d Intensive KM-Anreicherung in der fettgesättigten MRT T1.
- e Intensive Tracerspeicherung in der Skelettszintigrafie (Mineralisationsphase).

## 17.8.12 Radiologische Differenzialdiagnosen

► Tab. 17.8

## 17.8.13 Typische Fehler

- nicht erkennen einer malignen Transformation

## 17.8.14 Was der zuweisende Kollege/Kliniker wissen muss

- Lage und Ausdehnung der Herde, drohende pathologische Fraktur, Knochendeformierungen
- Mono-/polyostotischer Befall
- alkalische Phosphatase korreliert mit Krankheitsaktivität

- Erkrankung kann lange Zeit asymptomatisch bis oligosymptomatisch verlaufen, wird unter Umständen erst spät diagnostiziert; bei bekanntem Morbus Paget tritt symptomatisches Stadium nicht selten erst nach 25 Jahren auf
- MRT und CT zur Beurteilung zerebraler oder spinaler Komplikationen und bei V. a. Transformation in Paget-Osteosarkom

## 17.8.15 Prognose

- Komplikationen u. a. Deformitäten der langen Röhrenknochen, es können Insuffizienzfrakturen auftreten, auch neurologische Komplikationen möglich (siehe auch Kap. 17.8.8)
- Risiko der Transformation in sekundäres Sarkom liegt bei 0,1–1 %

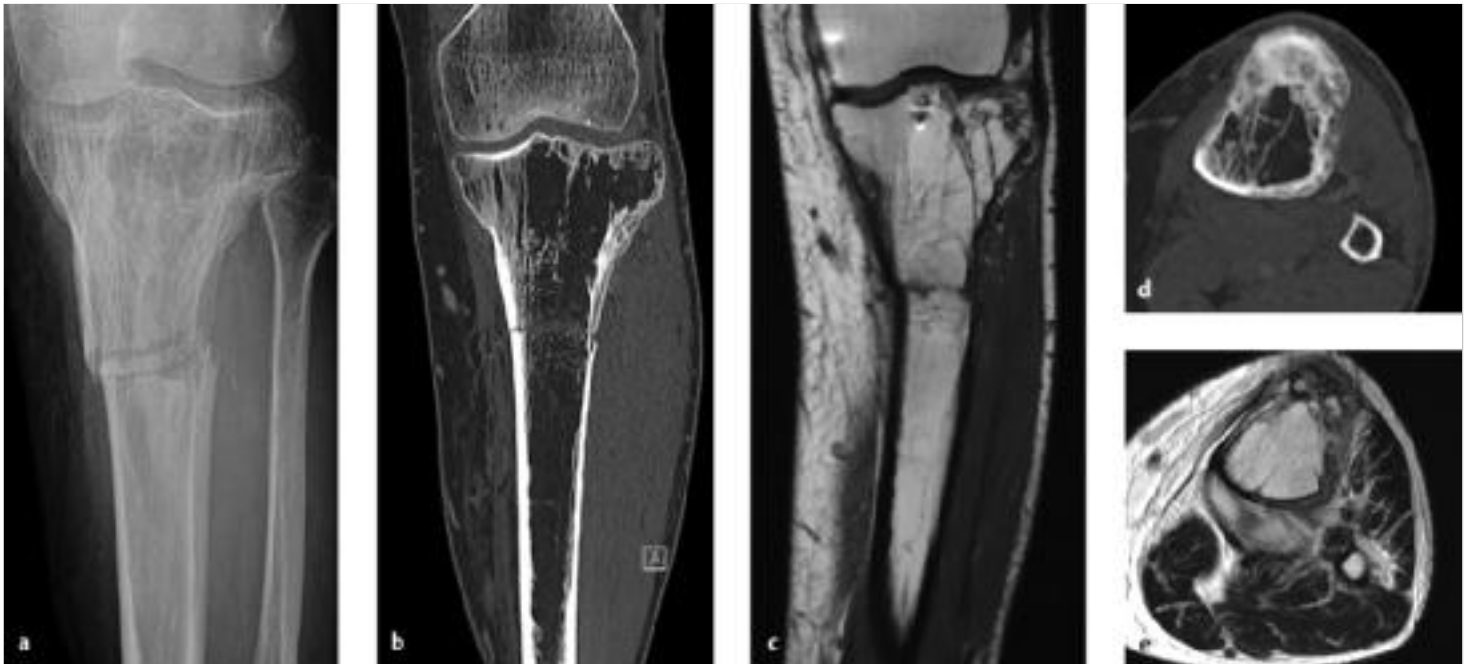


Abb. 17.58 Morbus Paget der Tibia. Mit pathologischer Fraktur.

- a** In der Nativradiologie ist die strähnige Knochenstruktur („wie morsche Kreide“) und die Aufblähtung der Kortikalis klar zu erkennen.
- b** Die CT zeigt die lytisch imponierende Läsion der Epi-, Meta- und Diaphyse mit vergrößerten Aufbau der Trabekel im Markraum des Röhrenknochens.
- c** Im MRT TSE T1 Nachweis von Fettmark (also keine Fettmarkverdrängung durch Tumorfunktion), fokale von sklerotisierten Trabekeln durchgezogen.
- d** Die transversale CT zeigt die lytische, von Trabekeln durchgezogene Läsion, die Vorderkante der Tibia ist verdickt.
- e** Trabekulierung, Kortikalisverdickung und Nachweis von Fettmark in der MRT T2 TSE.

Tab. 17.8 Radiologische Differenzialdiagnosen des Morbus Paget.

Differenzialdiagnose (absteigend sortiert nach klinischer Relevanz*)	Häufigkeit der Differenzialdiagnose in Hinblick auf das Krankheitsbild (häufig, gelegentlich, selten)	Wesentliche diagnostisch richtungsweisende Anamnese, Untersuchung u./o. Befunde	Sicherung der Diagnose
Paget-Osteosarkom	selten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weichteilanteil</li> <li>• Verdrängung des typische Fettmarks innerhalb der Läsion</li> </ul>	Biopsie
Knochenmetastase	häufig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anamnese: bekannter Primärtumor</li> <li>• weitere skelettale Herde (Röntgen, CT, MRT, Szintigrafie, PET)</li> </ul>	Biopsie
fibröse Dysplasie	gelegentlich	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Milch-/Mattglasmuster</li> <li>• Knochen expansiv aufgetrieben</li> </ul>	Röntgen, CT (Stamm/Becken), MRT
vaskuläre Malformation („Hämangiom“)	häufig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine Wirbelvergrößerung</li> <li>• Kortikalis nicht verbreitert/verdickt</li> <li>• alkalische Phosphatase nicht erhöht</li> </ul>	MRT (ggf. MR-Angiografie), CT. „Aggressives Hämangiom“: Biopsie

\*Klinische Relevanz ist nicht immer gleichbedeutend mit Häufigkeit. Auch seltene Differenzialdiagnosen können klinisch sehr relevant sein.

## Literatur

### Literatur zur weiteren Vertiefung

- [1] Appelman-Dijkstra NM, Papapoulos SE. Paget's disease of bone. Best Pract Res Clin Endocrinol Metab 2018; 32(5): 657–668
- [2] Cundy T. Paget's disease of bone. Metabolism 2018; 80: 5–14
- [3] Ihde LL, Forrester DM, Gottsegen CJ et al. Sclerosing bone dysplasias: review and differentiation from other causes of osteosclerosis. Radiographics 2011; 31(7): 1865–1882
- [4] Klemm P, Dischereit G, von Gerlach S et al. Morbus Paget des Knochens – eine aktuelle Übersicht zu Klinik, Diagnostik und Therapie. Z Rheumatol 2020. doi: org/10.1007/s00393-020-00897-x
- [5] Ralston SH, Corral-Gudino L, Cooper C et al. Diagnosis and Management of Paget's Disease of Bone in Adults: A Clinical Guideline. J Bone Miner Res 2019; e3657. doi: 10.1002/jbmr.3657
- [6] Singer FR, Bone HG 3rd, Hosking DJ et al. Paget's disease of bone: an endocrine society clinical practice guideline. J Clin Endocrinol Metab 2014; 99(12): 4408–4422
- [7] Valenzuela EN, Pietschmann P. Epidemiology and pathology of Paget's disease of bone – a review. Wien Med Wochenschr 2017; 167(1–2): 2–8
- [8] Winn N, Lalam R, Cassar-Pullicino V. Imaging of Paget's disease of bone. Wien Med Wochenschr 2017; 167(1–2): 9–17

## 17.9 Stressreaktion und Stressfraktur

### 17.9.1 Steckbrief

Die Stressreaktion bzw. Stressfraktur entsteht durch eine dauerhafte unphysiologische Belastung des im eigentlich gesunden Knochens. Nahezu  $\frac{2}{3}$  der Fälle treten bei Leistungssportlern auf. Die Tibia ist in 50 % betroffen, die Fibula in ca. 30 %; auch der Mittelfuß ist eine typische Lokalisation. Radiologisch ist die Stressreaktion durch eine peri- und endostale Verbreiterung der Kortikalis gekennzeichnet, die Stressfraktur durch den Nachweis einer linearen Frakturlinie im Bereich eines lokal verbreiterten Knochens. Bei Stressfrakturen, v. a. der Tibia, sind verzögerte Heilungsverläufe bis hin zur Pseudarthrosenbildung nicht untypisch.

### 17.9.2 Synonyme

- Überlastungsbruch, Ermüdungsfraktur

### 17.9.3 Keywords

- Stressfraktur, Stressreaktion, Überlastungsbruch, Ermüdungsfraktur

### 17.9.4 Definition

- Die Stressreaktion bzw. Stressfraktur entsteht durch eine dauerhafte unphysiologische Belastung des im eigentlich gesunden Knochens.
- Die Stressreaktion ist durch Umbauvorgänge mit peri- und endostaler Verbreiterung der Kortikalis und einen Umbau der Spongiosa gekennzeichnet. Die Stressfraktur durch das Auftreten einer Frakturlinie, die regelhaft linear im mittleren Bereich des spindelförmig verbreiterten Knochens verläuft.

### 17.9.5 Epidemiologie

#### Häufigkeit

- relativ häufiges Auftreten, in der amerikanischen Armee wird die Inzidenz mit 0,2–4 % für männliche Rekruten angegeben

#### Altersgipfel

- Peak in 3. Lebensdekade, auch höheres Alter betroffen

#### Geschlechtsverteilung

- Frauen und Männern sind gleichermaßen betroffen

#### Prädisponierende Faktoren

- übermäßig sportliche Belastung
- Art der Aktivität kann auf das Risiko und die Lokalisation einer Stressfraktur schließen lassen
  - Langstreckenläufer: Ermüdungsfrakturen proximal-posteromediale Tibia, distaler Fibulaschaft, Os naviculare des Fußes und Schenkelhals
  - Athleten mit Sprungaktivitäten (Basketballer, Hochspringer): Frakturen des anterioren Kortex der Tibia oder des Kalkaneus

### 17.9.6 Ätiologie und Pathogenese

- Ungleichgewicht zwischen (repetitiver) Belastung und Knochenstabilität des im eigentlich gesunden Knochens

### 17.9.7 Klassifikation und Risikostratifizierung

- Stressreaktion vs. Stressfraktur

### 17.9.8 Symptomatik

- lokale, belastungsabhängige Beschwerden

### 17.9.9 Methode der Wahl

- MRT (Frühdiagnose)
- Röntgen, nachgeordnet CT



Abb. 17.59 Stressfraktur des Metatarsale-II-Schaftes rechts. Nach ungewohnter Marschbelastung.

- a** Im Röntgenbild periostale Knochenneubildung am Metatarsale II.  
**b** Das korrespondierende MRT-Bild in fettsupprimierter TIRM-Technik zeigt das ausgeprägte Knochenmarködem und die Ödematisierung der periostalen Weichteile.

### 17.9.10 Befundbeschreibung

#### Lokalisation

- Tibia in 50 % betroffen, Fibula ca. 30 %, insbesondere Bereich der Diaphyse, etwas weniger Metaphyse
- Metatarsalia II-IV (sog. Marschfraktur)

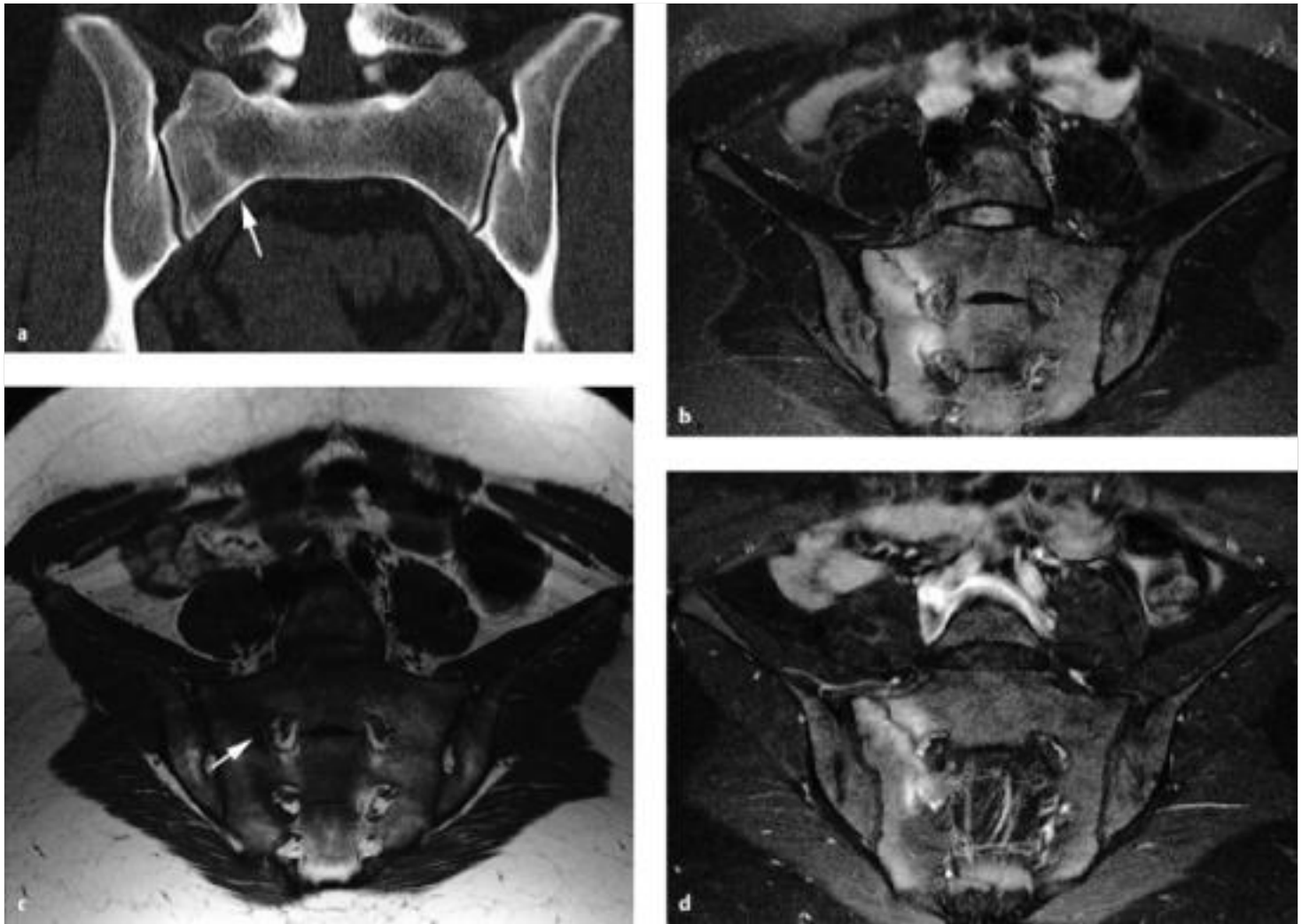
#### Röntgen

- ▶ Abb. 17.59a, ▶ Abb. 17.63a, ▶ Abb. 17.64a, ▶ Abb. 17.64c und ▶ Abb. 17.64d
- früher Befund einer Stressverletzung kann dichtegeminderte Zone („gray cortex sign“) im Kortex sein, wenngleich rund ¼ der Stressreaktionen in initialer Röntgenuntersuchung nicht nachweisbar sind (→ MRT)
- im Verlauf durch knöcherne Reparaturmechanismen periostale Knochenneubildung und endostalen Verdickung, dabei ist Periostreaktion meist kontinuierlich und monolamellär und spindelförmig
- Fraktur: lineare Transparenzminderung in lokal verbreiterten Knochen



Abb. 17.60 Beidseitige Stressreaktion bei einem jugendlichen Läufer. Die MRT STIR-Sequenz zeigt in beiden mittleren Tibiaschäften ein Knochenmarködem, eine eigentliche Frakturlinie ist noch nicht abgrenzbar.





**Abb. 17.61 Stressfraktur im Bereich des Os sacrum.** Die 22-jährige Amateur-Fußballspielerin hat nach Intensivierung ihres Trainings tiefsitzende Kreuzschmerzen rechts.

- a Die CT-Untersuchung (koronare Reformatierung) zeigt eine unscharf begrenzte Verdichtungsline im Os sacrum, parallel verlaufend zur rechten Iliosakralfuge.
- b Die MRT zeigt in der fettsupprimierten Sequenz (STIR) sowohl die hypodense feine Frakturlinie als auch das umgebende Knochenmarködem.
- c In der nativen MRT SE T1 ist die Stressfraktur als hypointense Linie erkennbar.
- d Nach Kontrastmittelgabe zeigt sich in der fettsupprimierten T1 SE eine diffuse Kontrastmittelanreicherung auf beiden Seiten des Frakturspalts.

## CT

- Abb. 17.61a, ► Abb. 17.62a, ► Abb. 17.63
- Nachweis der trabekulären oder kortikalen Fraktur
- spindelförmige Verdickung der Kortikalis

## MRT

- Abb. 17.59b, ► Abb. 17.60, ► Abb. 17.61b–► Abb. 17.61d, ► Abb. 17.62b und ► Abb. 17.62c, ► Abb. 17.63c–► Abb. 17.63e, ► Abb. 17.64b
- Stressreaktion: umschriebenes Knochenmarködem ohne definierte Frakturlinie
- Stressfraktur: „echte“ Frakturlinie als typischerweise lineare hypointense Zone, umgeben von einer breiteren, unscharf definierten geringer hypointensen Zone in T1, in T2 lineare Signalabsenkung, umgeben von einer breiteren Region erhöhter Signalintensität
- fettsupprimierte (insbesondere STIR) Sequenzen zeigen Zone der stärkeren Signalgebung noch intensiver
- Anreicherung von KM häufig, Frakturlinie demarkiert sich nach KM häufig besser



Abb. 17.62 Stressreaktion in der proximalen Tibia.

- a** In der CT-Untersuchung unscharf begrenzte Verdichtungsline an der Medialeseite der proximalen Tibiametaphyse.
- b** In der fettsupprimierten MRT T2 lässt sich das Knochenmarködem dieser Stressverletzung nachweisen.
- c** Im MRT SE T1 korrespondiert die in der CT nachweisbare Verdichtungsline mit der hypointensen Ödemzone des Knochenmarks.

### Szintigrafie

- frischeres Frakturstadium: erhöhte Tracerspeicherung in allen 3 Phasen, bei sehr frischer Fraktur (wenige Tage) ggf. in der Mineralisationsphase noch geringer ausgeprägt
- ältere Frakturen: erhöhte Tracerspeicherung in der Mineralisationsphase; SPECT/CT zur genaueren anatomischen Lokalisierung hilfreich
- Intensität der Traceraufnahme in der Mineralisationsphase korreliert mit zu erwartender Dauer der Ausheilung (Metatarsalia)

### PET/CT

- geringe bis intensive FDG-Aufnahme, betonter bei frischeren Frakturen
- Korrelation mit der CT-Morphe für die Interpretation hilfreich



**Abb. 17.63 Stressfraktur an der distalen Tibia.** Histologisch gesichert bei 54-jähriger Patientin mit rheumatoider Arthritis und langjähriger Kortisonmedikation.

- a** Das Röntgenbild zeigt die quer verlaufende Stressfraktur mit Knochenverdichtung in der distalen Tibiametaphyse.
- b** Die korrespondierende CT-Untersuchung zeigt analog dazu die unscharf berandeten Spongiosaverdichtungen. (Quelle: Uhl M, Herget G, Rottenburger C. Pitfalls – Differenzialdiagnosen zu Knochentumoren und tumorähnlichen Knochenläsionen. In: Uhl M, Herget G, Hrsg. Radiologische Diagnostik von Knochentumoren. 2., überarbeitete Auflage. Stuttgart: Thieme; 2015)
- c** In der CT kein Nachweis einer Stressreaktion im Kalkaneus.
- d** In der MRT SE T1 zeigt sich neben der im CT nachweislichen Stressfraktur der distalen Tibia eine zusätzliche, im CT nicht erkennbare Stressreaktion im Kalkaneus.
- e** Beide Stressregionen nehmen intensiv Kontrastmittel auf (MRT SE T1 fettsupprimiert).
- f** Beide Regionen weisen ein deutliches Knochenmarködem auf.



Abb. 17.64 Stressreaktion im rechten Vorfuß. Junger Mann mit Schmerzen nach ungewohnter Laufbelastung.

- a In der initialen Röntgenaufnahme kein Fraktur-nachweis.
- b Die am gleichen Tag durchgeführte MRT zeigt mit viel höherer Sensitivität sowohl die Fraktur (Pfeilspitze) als auch das Knochenmarködem in der STIR-Sequenz.
- c Erst nach 14 Tagen konnte die Stressreaktion auch im Röntgenbild gesichert werden.
- d Nach 6 Monaten vollständige Frakturkonsolidierung.

### 17.9.11 Radiologische Differenzialdiagnosen

► Tab. 17.9

### 17.9.12 Typische Fehler

- fehlende Anamnese (Sportarten)
- fehlende Differenzierung zur Insuffizienzfraktur

### 17.9.13 Was der zuweisende Kollege/Kliniker wissen muss

- oft langandauernder Verlauf, v. a. bei tibial gelegenen Stressfrakturen
- bei typischer Frakturlinie und anamnestisch besonderer Belastung ist Diagnose im Regelfall gestellt
- die Abgrenzung zur „Insuffizienz“-Fraktur ist notwendig um eine mögliche zugrundeliegende primäre/sekundäre Knochenerkrankung nicht zu übersehen