

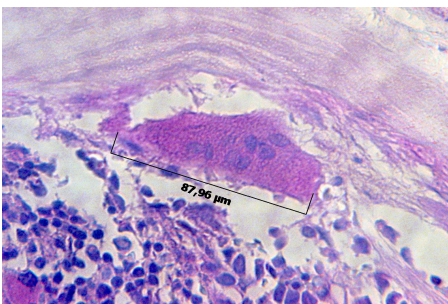
Knochenzellen

Für die Anforderungen an die Funktion des Knochens besitzt das Knochengewebe spezialisierter Zellen.

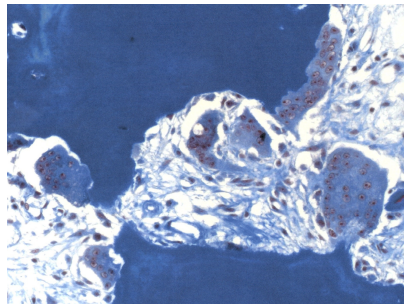
Osteoklasten

Osteoklasten bauen alten Knochen in nur wenigen Tagen ab. Die mehrkernigen Riesenzellen leiten sich von Zellen der Hämatopoese (Makrophagen) ab. Selbst im Blut zirkulierende Monozyten können sich zu voll funktionsfähige Osteoklasten differenzieren. Je nach Aktivität haben sie 6–30 Kerne und liegen in ihren Resorptionslakunen. Etwa ein Prozent der Knochenoberfläche ist mit Osteoklasten besetzt. Charakteristisch ist die stark gefaltete Zellmembran „ruffled border“ auf der zum Knochen gewandten Seite. Hier werden große Mengen proteolytischer Enzyme (Matrix-Metalloproteinasen, Kathepsine) und H^+ Ionen sezerniert, die die Mineralkristalle auflösen und die restliche Matrix verdauen. Das klassische Enzym der Osteoklasten ist die saure Phosphatase. Die Kristalle werden vom Kollagen getrennt und im sauren Milieu in Kalzium und Phosphat aufgelöst. Die übrigbleibenden Kollagenfasern werden von Kollagenasen und Kathepsinen bei niedrigem pH-Wert zu Aminosäuren wie Hydroxyprolin verdaut. Osteoklasten besitzen an ihren Zellkernen Estrogenrezeptoren: Estrogene unterdrücken die Mobilisierung der Osteoklasten und lösen die Apoptose aus. Auf ihrer Zellmembran tragen Osteoklasten den Rezeptor (*RANK*, Receptor for Activation of Nuclear Kappa) über den sie durch den Ligand (*RANKL*) aktiviert werden.

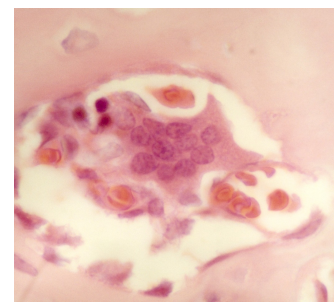
Abb. 1 bis 3 Osteoklasten, Mensch



PAS/Hämalaun



Eisenlack/Anilinblau



HE-Färbung

Osteoblasten

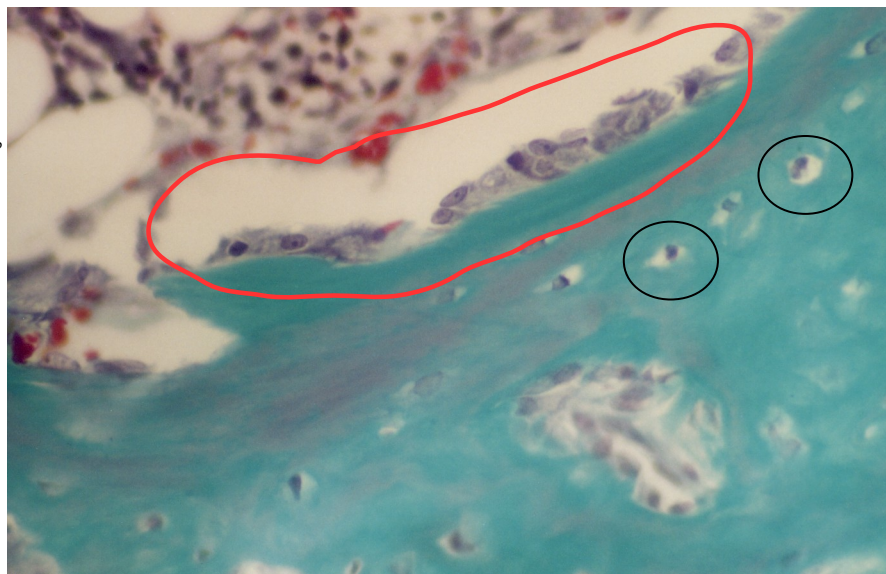
Osteoblasten sind kettenförmig an der Knochenoberfläche angeordnet (ungefähr 100–400 Zellen im Verband). Die Zellkerne liegen der Oberfläche abgewandt. Das Zytoplasma ist stark basophil und reich an alkalischer Phosphatase. Ihre Hauptfunktion ist die Synthese von Knochenmatrix (Osteoid), insbesondere Kollagen Typ I, Osteocalcin, Osteonectin und Bone Morphogenic Protein (BMP). Die Kollagenfasern dienen als Kristallisationskeime, über intrafibrilläre Kristalle entstehen faservernetzende interfibrillärer Kristalle. Aus dem zunächst gebildeten Kalziumphosphat wird das

Hydroxylapatit.

Durch Zellkontakt mit unreifen Osteoklasten stimuliert der Osteoblast die Bildung funktionsfähiger Osteoklasten. Dafür synthetisiert er die Wachstumsfaktoren M-CSF (Monocyte-Colony Stimulating Factor) und *RANKL* (Receptor for Activation of Nuclear Kappa **Ligand**). Das Parathormon erhöht die Synthese von M-CSF und RANKL und somit die Wahrscheinlichkeit der Wechselwirkung zwischen Osteoblast und Osteoklast. Der Gegenspieler des Parathormons ist das von der Schilddrüse gebildete Kalzitinin, es inaktiviert Osteoklasten. Osteoblasten besitzen keinen Rezeptor für Kalzitinin. Sie verfügen jedoch über einen beta-2-Adrenozeptor für die nervale Hemmung durch den Sympathikus.

Abb. 4

Knochen Mensch,
Osteoblasten und Osteozyten,
Goldner-Färbung



Osteozyten

Der Osteozyt ist zahlenmäßig die weitaus bedeutendste Knochenzelle und entwickelt sich aus Osteoblasten. Ungefähr jeder zehnte Osteoblast wird durch die neugebildete Knochenmatrix „eingemauert“ und in einen Osteozyten umgewandelt. Er besitzt zahlreiche Rezeptoren für Hormone einschließlich Parathormon und Estrogene. Die Osteozyten breiten sich in einem Kanalsystem des Knochens aus und sind untereinander sowie mit der Oberfläche des Knochens durch kleine Kanäle über lange zytoplasmatische Ausläufer verbunden. So bilden die Osteozyten im Knochen ein ausgedehntes und komplexes Zirkulations- und Kommunikationssystem. Sie sind in der Lage, verschiedenartige Belastungssignale auf Osteoblasten zu übertragen, die daraufhin den Knochenabbau und -aufbau regulieren: Anpassung des Knochengewebes an die Belastung. Kleine, nicht sichtbare Schäden (Mikrofrakturen) werden von ihnen erkannt und Reparaturen eingeleitet. Sie sind zuständig für den Nährstofftransport und die Entsorgung von Stoffwechselprodukten durch das Knochengewebe. Die Gesamtoberfläche des Kanalsystems, das sie durchziehen wird auf etwa

1200 qm geschätzt.

Osteozyten erkennen die Fließgeschwindigkeit durch das Kanalsystem, registrieren die Stärke der Muskelarbeit sowie den Alterungsprozess im Knochen und informieren, über noch nicht aufgeklärte Wege, die Osteoblasten.

Abb. 5 Osteon im menschlichen Knochen

Venole mit Durchmesser von 25,11 Mikrometer

Arteriole 10,76

Osteozyt 8,71

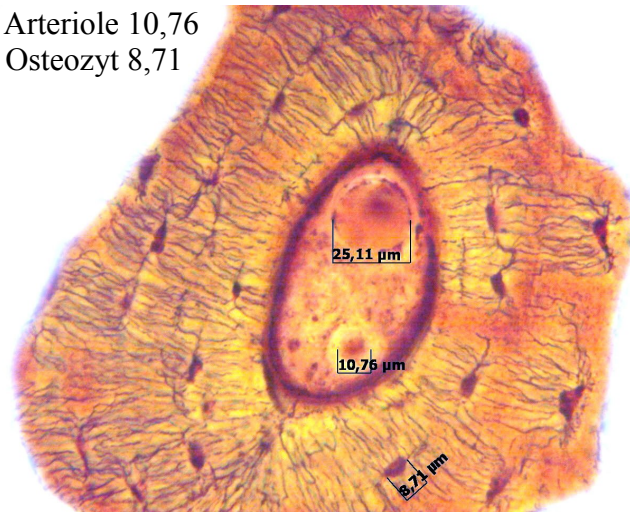
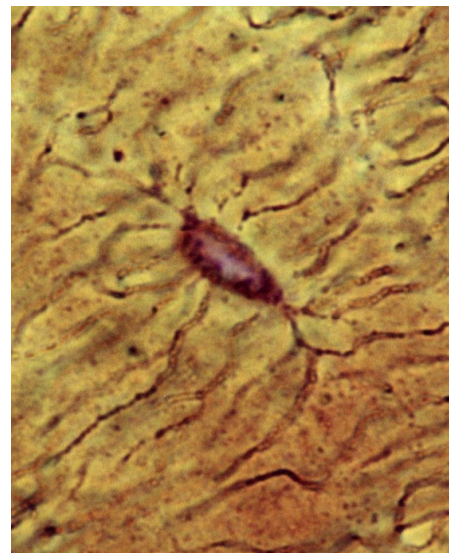


Abb. 6 Osteozyt



Endost

Endostale Zellen sind von flacher Gestalt und kleiden die innere Oberfläche des Knochens aus. Das Endost entwickelt sich aus dem Knochenmarkstroma und enthält Bindegewebestammzellen, die sich je nach Bedarf zu Fibroblasten oder Osteoblasten differenzieren. Die Zellen des Endost fungieren als Schutzschicht und stellen zusammen mit den Osteozyten ein weitverzweigtes Überwachungssystem des Knochengewebes. Endostale Zellen sind an der Aktivierung von Osteoklasten beteiligt und nehmen am Knochenumbau teil. Sie entfernen Überreste des Knochenkollagens aus Osteoklastentätigkeit und säubern so die Knochenoberfläche. Ein spezialisierter Zelltyp steht mit hämatopoetischen Stammzellen in Verbindung.

Periost

Die Knochenhaut besteht aus einer äußeren kollagenfaserigen Schicht und einer, dem Knochengewebe aufliegenden, mit Blutgefäßen und Nerven durchzogenen Schicht. Im Periost sind vereinzelte Osteoblasten integriert. Die Knochenhaut erweist sich als sehr schmerzempfindlich.