

Lebenszyklus des Knochengewebes

Bei der Geburt sind nur wenige Knochenteile fertig angelegt (z.B. im Innenohr), fast alle anderen werden in der Wachstumsphase aus Knorpel oder Bindegewebe zum festen, lamellären Knochen umgebaut – indirekte Ossifikation. Das Knochenwachstum („*modeling*“) wird in der Pubertät mit Verknöcherung der Wachstumsfugen abgeschlossen. Der alternde Knochen verliert durch Mineralverlust und Matrix-Alterung an Festigkeit und Elastizität, er bricht leichter. Um dies einzudämmen wird daher in regelmäßigen Abständen Knochensubstanz ausgetauscht. Täglich werden mehr als 400 mg Kalzium aus dem Knochen herausgelöst und pro Jahr 10% des Knochens abgebaut. Das bedeutet, dass das Skelett im Leben 3–4 Mal vollständig neu aufgebaut wird. Der Materialaustausch und Knochenumbau „*remodeling*“ dient jedoch nicht allein der Anpassung und Gesamterneuerung, sondern auch der Reparatur eines gebrochenen bzw. angebrochenen Knochens. Dabei handelt es sich nicht nur um Ausheilung von Brüchen ganzer Knochen, sondern auch von Tausenden mikroskopisch kleiner Brüche der Knochenbälkchen „*Mikrofrakturen*“.

Den Beweis für den vollständigen Knochenumbau liefern Reste ehemals vollständiger Lamellen im mikroskopischen Bild und kleine, am Beginn ihrer Entwicklung stehende Lamellen.

Knochenmatrix

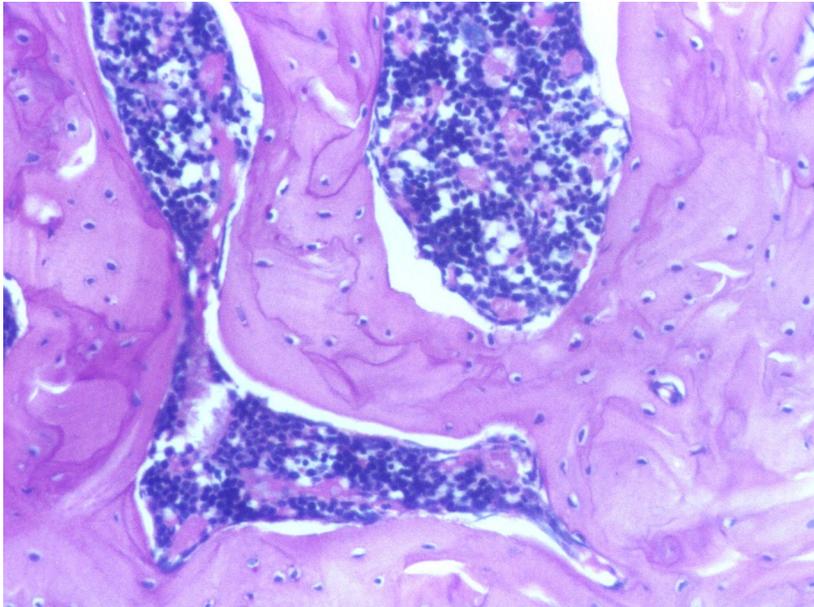
Die Knochenmatrix setzt sich zu 50 Prozent aus einer anorganischen und zu 25 Prozent aus einer organischen Matrix zusammen. Die verbleibenden 25 Prozent werden im lebenden Knochen vom Wasser eingenommen. Die organische Matrix enthält 90% Kollagen vom Typ I und 10% andere nicht-kollagene Proteine wie z.B. die Glykoproteine Osteocalcin, Osteonektin, Bone Sialoprotein, Osteopontin sowie verschiedene Proteoglykane.

Die mineralische Matrix setzt sich aus Kalzium, Phosphat, Carbonat und Magnesium in einem molaren Verhältnis von 40 : 25 : 5 : 1 zusammen und wird wegen ihrer Struktur als Apatit bezeichnet. Der Apatit ist eine Kurzbezeichnung chemisch ähnlicher Minerale. Im Knochen tritt überwiegend Kalziumphosphat auf, das als Hydroxylapatit bezeichnet wird $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$. Die hohe Festigkeit des Knochens entsteht, weil sich die Kristallite des Hydroxylapatits nach Druck- und Zugbeanspruchung in Spannungslinien ausrichten und dabei eine strebenartige Struktur bilden. Die Kollagenfasern bilden dabei die Keimzentren für die Kristallisation.

Der Knochen hat die mechanische Aufgaben der Belastbarkeit und Elastizität bei möglichst niedrigem Gesamtgewicht zu erfüllen. Dies realisiert ein besonderer architektonischer Bau, nach dem Prinzip der Matrixlamellierung mit Spannungslinien und der Verwendung spezialisierter Baumaterialien. Weiterhin bedeutsam ist, dass Osteozyten und Kollagen im richtigen Mischungs-

verhältnis zum Kalziumphosphat stehen. Kollagen ist für die Elastizität, die kristallinen Mineralien für die Festigkeit des Knochen zuständig. Der Blick auf einen Knochen verbirgt die geniale Architektur, die erst im histologischen Präparat sichtbar wird.

Abb. 1 Knochen Mensch, PAS/Hämalaun



Der Kohlenhydratanteil der kollagenen Fasern verdeutlicht die Spannungslinien im Knochen. Über diese Strukturelemente werden die auf den Knochen wirkenden Kräfte verteilt. Sie sind verantwortlich für die Elastizität und verhindern den Bruch. Ohne die Spannungslinien wäre der Knochen spröde und unbiegsam. Gut erkennbar sind die eingemauerten Osteozyten. In den Räumen zwischen den Knochenbälkchen liegen blutbildende Zellen.