

# Populärvetenskaplig sammanfattning

Vårt skelett utsätts regelbundet för höga belastningar utan att gå sönder. En av förklaringarna är att skelettet främst består av ett hårt mineral och mer flexibla proteiner. Dessa byggstenar är organiserade i specifika strukturer som ger ben unika egenskaper. På nanoskalan är mineralet format som små plattor som fäster i ett nätverk av protein. Benets egenskaper beror på mängden mineral, var mineralplattorna sitter, och hur välorganiserat nätverket är. Dessa egenskaper ändras när skelettet bildas eller läker efter en skada, men också när vi blir äldre eller får vissa sjukdomar så som benskörhet. Benvävnad delas ofta in i två olika typer. I våra långa ben, så som lårbenet, finns ett yttre kompakt skal som kallas kortikalt ben och i ändarna finns en inre porösare struktur som kallas trabekulärt ben. Dessa benstrukturer förändras också när ben bildas, läker, blir äldre eller sjukt. För att hjälpa ben att läka, eller kunna motverka att benet blir skörare, är det viktigt att förstå vilka förändringar som sker och hur dessa påverkar benets egenskaper.

Röntgenstrålning används ofta för att undersöka ben både för medicinsk diagnostik och i forskning. Röntgenstrålning som färdas genom ett material interagerar med elektronerna i materialets atomer. Ju fler elektroner desto tydligare syns strukturen som avbildas. Mineral har fler elektroner än protein och därför syns skelett tydligt medan mjuk vävnad är nästintill transparent. Röntgen är alltså inte optimalt för att undersöka proteinet i benet. I den här doktorsavhandlingen användes neutroner som komplement till röntgen. Till skillnad från röntgenljus som interagerar med elektroner så interagerar neutronerna med själva atomkärnan. Det innebär bland annat att neutroner kan skilja mellan isotoper, alltså olika varianter av samma ämne. Ett sådant exempel är väte och deuterium (tungt väte). Att få fram neutroner är svårt och därför används speciella neutronkällor. Dessutom bildas en del farliga partiklar när neutronen interagerar med atomer vilket gör att neutroner endast kan användas på prover och inte på patienter. Neutroner interagerar väldigt starkt med väte, vilket det finns gott om i protein. Målet med den här avhandlingen var att undersöka hur neutronmetoder kan vara behjälpliga i benforskning. Utifall att neutroner kan se saker som inte syns med röntgen, skulle metoderna kunna assistera i utveckling av bättre metoder för att hjälpa ben läka efter en fraktur eller sjukdom.

I de två första studierna i avhandlingen användes en teknik som kallas låg-vinkel-spridning för att titta på benets struktur på nanoskalan. Genom att belysa ett benprov med en röntgen- eller neutronstråle fås ett spridningsmönster när strålen interagerar med mineralplattorna och proteinnätverket. Spridningsmönstret från röntgen kommer till största delen från mineralet och signalen från proteinet

överskuggas så att den inte är enkelt att titta på. I den första studien användes röntgenspridning för att undersöka hur mineralet förändras med ökad ålder i benbitar från kaniner. Resultatet visade att mineralplattorna var tjockare och mer välorganiserade ju äldre benvävnaden var, och att inte bara mängden mineral påverkar benvävnadens egenskaper utan också tjockleken på mineralplattorna. I nästa studie användes både röntgen och neutroner för att titta på benbitar från ko, gris och får. Jämförelse av spridningsmönstren visade att neutroner och röntgen sprids på samma sätt. Det innebär att de enda strukturerna som påverkar spridningsmönstret är mineralet och proteinet, vilket har betydelse för hur mönstret ska tolkas och vilka slutsatser som kan dras gällande benstrukturen.

I de följande två studierna användes datortomografi för att titta på benets mikrostruktur. Med tomografi tas många två-dimensionella bilder på olika positioner kring benet, och dessa sätts sedan samman till en tre-dimensionell bild. Fördelen med tomografi är att man mer exakt kan se var till exempel ett implantat är placerat. Att titta på just benimplantat är viktigt för att förstå varför de ibland lossnar från benet. Vanligtvis är benimplantat gjorda i metall och det är svårt att titta på benvävnaden nära implantatet med röntgen eftersom bildartifakter skapas när röntgenstrålen interagerar med metallen. Neutroner interagerar inte på samma sätt med metall så med neutrontomografi kan man tydligt se benet precis intill implantatet. I den tredje studien användes neutron- och röntgentomografibilder av rättben med implantat av titan. Förutom att benet nära implantatet syntes bättre i neutronbilderna sågs även mjuk skelettvävnad, vilket inte syns tydligt i röntgenbilder. En utmaning med neutrontomografi är dock att neutroner interagerar starkt med väte. Väte finns inte bara i proteinnätverket utan också i vatten. Kroppens vattenhalt gör att neutrontomografibilder av blöta benprover visar sämre kontrast mellan ben och bakgrund än röntgenbilder. Samtidigt är det viktigt att bibehålla samma vätskehalt som i kroppen eftersom benets egenskaper påverkas av dess vattenhalt. I den sista studien jämfördes neutrontomografibilder av torrt och blött ben. Vattnet byttes mot tungt vatten genom torkning och rehydrering, i ett försök att förbättra kontrasten mellan vävnad och vätska, eftersom deuteriumet i tungt vatten inte interagerar lika starkt med neutroner som vätet i benet. Mekaniska tester användes för att se hur benets mekaniska egenskaper påverkades. Resultatet visade att kontrasten mellan tungt vatten och ben var låg, men att benets egenskaper inte verkade påverkas av torkningen.

Sammanfattningsvis demonstrerar studierna i den här doktorsavhandlingen att neutrontekniker har potential att användas för benforskning och att informationen som fås komplimenterar den från röntgentekniker. Mer specifikt har studierna visat att benvävnad huvudsakligen består av mineralplattor i ett proteinnätverk på nanonivå, och att mineralplattorna blir tjockare och mer välorganiserade ju äldre benet blir. De visar också att neutrontomografi är en lovande teknik för att titta både på benvävnad nära metallimplantat och på mjuk skelettvävnad. Dock behövs fler studier kring balans av vätskehalten så att benets egenskaper bibehålls samtidigt som neutronbilderna har god kontrast.