

Enaxligt kompressionstest för undersökning av kemisk-mekanisk växelverkan i biologiska material

Adam Wahlsten

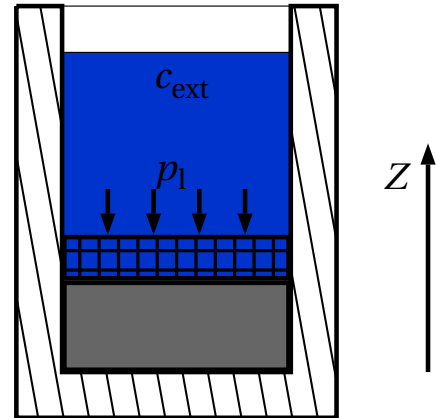
Mjuka biologiska vävnader är material som består av flera olika beståndsdelar. Hur en vävnad deformeras under mekanisk belastning beror inte bara på de individuella beståndsdelarnas egenskaper, utan även på interaktioner mellan beståndsdelarna. För att undersöka dessa effekter krävs specifika numeriska och experimentella metoder som på ett naturligt sätt kopplar samman vävnadernas sammansättning med deras mekaniska egenskaper.

De viktigaste beståndsdelarna för biologiska vävnaders mekaniska egenskaper är kollagenfiber, proteoglykaner, vatten och joner. Kollagenfibrerna bidrar med motstånd då vävnaderna sträcks, medan vattnet inuti vävnaden är viktigt för att motstå kompressiv belastning. Ett exempel på växelverkan mellan beståndsdelarna är energiförluster som uppstår på grund av friktion när beståndsdelarna rör relativt varandra. Ett annat exempel är osmotiska effekter på grund av obalans i jonkoncentrationer inuti och utanför vävnaden. Denna obalans visar sig endast om materialet innehåller laddade grupper. De laddade grupperna är fysiologiskt viktiga för att hålla vävnaden hydrerad.

I denna studie har dessa effekter, som direkt härrör från sammansättningen av biologiska material, studerats. Både experiment och numeriska simuleringar har utförts. En matematisk modell som inkluderar både de individuella beståndsdelarna och deras växelverkan har implementerats i en kommersiell mjukvara för finita element-beräkningar. För de experimentella undersökningarna utvecklades en uppställning för ett enaxligt kompressionstest. Här är ett cylindriskt prov placerat i en kammare, vilken begränsar deformationen under mekaniska och kemiska laster till endast axiell riktning. Deformationen är direkt kopplad till att vatten flödar in i eller ut ur provet, vilket gör testet idealiskt för att undersöka interaktioner mellan vatten, joner och de fasta beståndsdelarna.

Genom att utsätta provet för kompression tvingas vatten att flöda ut. Hur lång tid denna process tar beror på materialets permeabilitet. Man tänka sig materialet som en tvättsvamp, där vatten befinner sig i en porös struktur uppbyggd av de fasta beståndsdelarna. Permeabiliteten beror på hur stora porerna är: hög permeabilitet reflekterar stora porer, vilket innebär att vatten enkelt kan flöda ut ur

provet.



Skiss av det enaxliga kompressionstestet.

Experiment där koncentrationen av joner i omgivningen ändras kan användas för att avgöra om materialet innehåller laddade grupper. En ändring av omgivningens jonkoncentration rubbar den rådande jämvikten, och leder till flöde av både vatten och joner för att återgå till jämvikt. Volymförändringen till följd av in- eller utflöde av vatten kan direkt observeras i experimentet.

Ett av materialen som undersöktes var en kollagenbaserad hydrogel, utvecklad för att fungera som ersättning till hud, som kirurgen kan applicera på större sår till följd av exempelvis brännskador. Experimenten visade att dessa hydrogeler genomgick stor och snabb kompression till följd av ett applicerat tryck. På ett par minuter minskade volymen till endast 3 % av den ursprungliga volymen! Ingen reaktion observerades till följd av en ändring av jonkoncentrationen i omgivningen, vilket innebär att hydrogelerna saknar laddade grupper. Resultaten visar att de mekanismer som verkar för att hålla hydrogelen hydrerad är väldigt svaga, vilket är tvärtemot vad som gäller för flera mjuka biologiska vävnader.

Med den experimentella uppställningen kan de kemisk-mekaniska egenskaperna hos syntetiska material för biomedicinsk användning jämföras med deras biologiska motsvarigheter. Exempelvis kan nya experiment på hudvävnad utföras för att sedan användas som referens för vidareutveckling av de kollagenbaserade hydrogelerna. De experimentella resultaten kan även kopplas samman med den matematiska modellen för att kvantifiera materialparametrar. Speciellt intressanta parametrar är permeabiliteten och koncentrationen av laddade grupper.