**Biomekanik knoglevæv**

Skellettet består af knogler som igen bestå af knoglevæv. Det har en specifik vægtfylde på 2 og er noget af legemets tungeste væv. Knoglerne er derfor opbygget ud fra et masse-minimerings-princip - hvilket betyder at de er ikke stærkere eller tungere end organismens maksimale ydelser til enhver tid kræver.

De enkelte knogler har forskellige funktioner:

1. De er vægtstænger for musklerne
2. De besidder stor styrke og stivhed hvilket er indbygget i både materiale og form
3. Det beskytter mange af organismens vigtige organer
4. Det rummer knoglemarven
5. Det er et kalkdepot

Der findes flere forskellige slags knogler i kroppen som både er forskellige i udseende og opbygning. Hvis man skal sammenholde nogle af de mekaniske egenskaber knogler har, er det som følger:

1. Knoglerne er inhomogene: knogler er opbygget af to slags knoglevæv - en substantia compacta som bekæder ydersiden af knoglen og giver den styrke. Det kompakte knoglevæv har en porøsitet på 5-10% (da der er huller til næring fra kar og nerver) Den anden kaldes en substantia spongiosa og er dannet af trabekelstruktur - dette gør at den har en meget høj porøsitet (imellem 30-50%)
2. Knoglevæv er anisotropt: Det betyder at knoglerne har forskellige mekaniske styrker i forskellige retninger. Dette sker primært pga. strukturen af trabeklerne i den spongiøse knoglevæv. Hvis der er stort tryk på en knogle, så vil trabeklerne ud ved (f.eks. Femorhoved) ligger sig langs trykretningen (kompression). På denne måde styrkes knoglen i retningen af trykket. På samme måde vil nogle trabekler også lægge sig i trækretningen (traktion), så dette styrkes. Generelt udstår knogler mere kompression (20.000 N/cm2) end traktion (14.000N/cm2)
3. Knoglevæv er viskoelestisk: Dette betyder at styrken og stivheden øges ved øgende belastningshastighed. Dette sker bl.a. fordi knoglevæv indeholder kollagene fibre (primært type 1). Det er stærkt overfor for trækkræfter og det er elastisk med en stor stivhed, men er ikke ideelt elastiske og er tidsafhængige. Derfor opnås en spændings-deformation.
4. Knoglevævets egenskaber varierer med alder, køn, kost og den gennemsnitslige træningstilstand.
   1. Alder: ved fødselen er diafysen dannet ved primære ossifikationscentre. Efterfølgende ved de sekundære ossifikationscentre opstå i epifyserne (i rørknogler) og til sidst vil de tertiære ossifikationscentre opstår (ved apofyserne, som er udvoksninger til muskelhæfningen). Udover rørknogler findes korte knogler (samme forbening), uregelmæssige knogler (ofte flere ossifikationscentre) og flade knogler (desmal forbening i kraniet eller ligesom uregelmæssig)
   2. Køn: kvinder som kommer i overgangsalderen nedsætter deres produktion af østrogen - dette medfører en fortynding af knoglevævet (primært i spongiosa) og reduktion af mineraliseringsgraden. Dette medfører en øget osteoklaster aktivitet (og da osteoklasterne er 30 dage om at nedbryde og osteoblasterne er 90 om at opbygge) hvilket medfører nedsat knoglevæv. Hvis der først er gået "hul" på en trabelkel, kan der ikke dannes nye. For at formindske dette, skal der spises meget kalk i kosten og trænes
   3. Kost: Det er vigtigt med kalkholdig kost (specielt kvinder), da dette føres til mineraliseringsdepotet i knoglen og den uundgåelige fortynding af knoglevævet udsættes så lang tid som muligt
   4. Træning: som nævnt tidligere, så er knoglevævet lavet præcist så det passer til den maksimale ydelse af legemet. Ved maksimal ydelse bliver tolerancegrænset for vævet overskredet en smule og der opstår mikrobrud - disse mikrobrud sikre, at vævet hele tiden remodelles (vævet er meget aktivt) og derved forstærke og danner vævet ud fra behovet). Ved astronauter eller sengeliggende patienter kan der endda ske et kalktab på 1% om ugen (fordi der ikke kommer belastning på knoglerne)
5. Knoglevæv er trætbart: Dette betyder at materialestyrken aftager med antallet af umiddelbare foregående belastninger. Så hvis der over en længere periode (f.eks. Ved lang tids løb) kommer præcis det samme tryk på knoglen, reduceres styrken og der kan opstå mikrofrakture (f.eks. I metatarsalerne ved march af soldater)

**Biomekanik skeletmuskler**

Tværstribet muskulatur er den muskulatur der er dannet fra myotomer fra somitter eller fra branbiebuerne i ansigtet. Det er under voluntær kontrol og dens cellulære enhed er muskelfibre som varierer i diameter fra 50 μm til 150 μm og i længden fra få millimeter til 10 cm lange.

Muskelfibren modtager en nerveimpuls, udbreder den over hele sin længde og genererer mekanisk spænding på en af tre følgende måde

* En koncentrisk kontraktion: Musklen forkortes (der opbygges ikke mere kraft - det er allerede dannet inden)
* En isometrisk kontrkation: musklen beholder sin længde, men opbygget kraft. Det er det der sker før en koncentrisk kontraktion og det vi oplever når vi prøver at løfte en meget tung genstand
* En excentrisk kontraktion: Musklen forlænges - det der sker når vi løfter noget der er for tungt - der er stadig kraft i musklen, men vi bevæger den nedad.

Knogle-sene-muskel-sene-knogle: parallel- og serieforbindelser.

Agonister-Synergister-antagonister

Udover de forskellige former for spænding, kan muskelfibrene opdeles i to hovedgrupper (tre) (i kroppen har vi ingen rene type 1 eller 2 muskler, men nogen med overvægt)

* Type 1: de røde muskelfibre: disse fibre modtager impulser fra relativt små neuroner som har et tynd akson og deler sig kun i få grene i periferien. De kaldes røde fordi de har et stort myoglobinindhold og har et aerobt stofskifte. Dette betyder at de har en stor udholdenhed og en lav spændingsudvikling. Det er bl.a. m. soleus der indeholder overvægt, da den er med til at holde vores posturart i stående stilling og derfor skal være meget udholdende.
* Type 2: de hvide muskelfibre: disse fibre modtager impulser fra større neuroner og deres axoner går til flere og større muskelfibre. De har et anaerobt stofskifte hvilket betyder at ved maksimal koncentrisk kontraktion, vil der ikke strømme noget blod til musklen. Dette medvirker at den hurtigt kan udvikle en meget stor kraft (større end type 1), men at den udtrættes meget hurtigt. Et eksempel på dette er m. tibialis anterior

Udover måde hvorpå en muskel kan kontrahere sig, kan den også varierer i kontraktionslænge og kontraktionsstyrke.

En muskel har et udspring og en insertion (der begge er senede) og imellem den en muskelbug. Muskelbuen kan udgå på forskellige måder

* Pennat: Her udgår muskelbuen fra en central senebue. Denne type muskler har ofte meget korte fibre (så der næsten er overlap mellem udspring og tilhæftningsaponeurose) og der bliver plads til mange fibre. De pennate muskler opdeles i to
  + Semipennate: De kødede fibre er kun hæftet til den ene side af senen (regnes for grundstrukturen). F.eks. Er m. interosseus plantare semipennat
  + Multipennate: De kødede fibre er hæftet på begge sider af senen. Dette giver en meget kraftig muskel og er f.eks. m. deltoidea pars medius
* Parallelle/fusiforme: Indeholder lange muskelfibre (aponeuroser langt fra hinanden), og indeholder få fibre der ligger parallelt

Generelt er styrken af en muskel bestemt af antallet af fibre og tykkelsen af disse. Dette betyder at de pennate muskler indeholder stor styrke (da der findes mange fibre), hvor i mod de parallelle indeholder mindre styrke.

Tilgengæld har de parallelle en stor kontraktionslængde.

I organismen bevirker dette, at de pennate muskeler ligger tæt på ledaksen hvor de skal arbejde (da de jo har korte fibre), hvor i mod de parallelle ligger langt fra, så de kan udøve deres kontraktionslængde. De to muskler understøtter hinanden mht. drejningsmomentet.

For at beregne styrken af en musklen findes det fysiologiske tværsnitsareal, som er summen af alle enkeltfibre på et tværsnit (derfor bliver de pennate stærkere), hvor det anatomiske tværsnitsareal er summen af muskelfibre på midten af muskelbuen.

Moment =kraft x arm

(f.eks. Ved bøjet ben så har vi en lang arm fra kroppen (og evt. byrde) men en kort arm fra musklerne. Derfor skal musklerne udvikle mere kraft for at udligne den lange arm fra kroppen. Det er derfor sesamknogler findes - til at øge den korte arm fra musklerne)

**Biomekanik sener og ledbånd**

Sener og ledbånd består af kollagene fibre. Kollagent væv er specielt ved, at det er meget stærkt overfor trækkrafter fordi det er elastisk og har en stor stivhed. Dette betyder at det kan optage elastisk energi.

Det kollagene væv både optager og afsætter energien hurtigt og øger på den måde musklernes effekt og mindsker skader. Der findes 5-6 typer kollagen, men biomekanisk er der hhv.:

* Type 1: indeholder den største fiberdiameter og findes i ren form i sener og knoglevæv og blandet i læderhud og ligamenter
* Type 2: findes i ledbrusk, disci og laslegemet i øjet - div. steder hvor det ikke får karforsyning

Det tåler en belastning på 6000-8000 N/cm2 og kan forlænges 8-10%. Dets stivhed sættes til omkring 1GPa.

Selvom kollagene fibre er elastiske, er de ikke ideelt elastiske. Det linære område (som ville være konstant ved en spændingsdeformationskurve for en ideel elastisk fibre) er begrænset og fordi vævet er viskøst taber det energi undervejs. Derfor fås en graf hvor det første stykke stiger bugtet (her rettet fibrerne ud) herefter kommer alle fibrene til at bære spænding og der ses et linært elastisk område hvor materialet/strukturens egentlige stivhed angives. Hvis man fortsætter med at udstrække fibrene nås først smertegrænsen, så belastningsgrænsen (hvor grafen udflades) og stivheden begynder at aftage så man får forstuvninger. Til sidst nås brudgrænsen hvor knoglen brækker.

Fordi smertegrænsen ligger før belastningsgrænsen, holdes legemet intakt.

Ud fra samme graf kan ses, at afstanden fra belastnings- til brudgrænsen er forholdsvis lille, men den mængde energi der skal til for at nå til grænsen er stor (arealet under grafen)

Grunden til at der findes dette er pga. kollagen. Det er et sejt væv og kan rumme meget elastisk energi, men egenskaberne er tidsafhængige. Dette betyder følgende:

1. Jo hurtigere man udspænder fibrene, jo større bliver styrken og stivheden
2. Hvis der holdes en konstant deformitet over fibre over tid, så vil spændingen aftage ekponentielt (stress-relaxationskurve). Dette gør at belastningen fordeles og jævner sig, så det bliver mere ligeligt fordelt og brudrisikoen mindskes.
3. Samtidig findes, at hvis spændingen holdes konstant, så vil fibrene forlængere (over tid) mere end den først opnåede deformitet.

Pga. disse egenskaber kaldes vævet viskoelastiske og der bliver ved elastisk deformation altid tabt energi. Dette kaldes hysterese. Hysterese sker fordi der sker en opvarmning af materiale i forbindelse med deformationen hvor molekylerne bliver omlejret. For kollagene fibre tabes ca. 10-20%

Udover kollagen findes også elastinfibre. I vores organisme er det kun ligamentum flava der har overvægt af disse fibre. Forskellen på elastin og kollagen er at elastin deformerer meget hurtigt ved stræk. Det kan derfor kun rumme meget ringe elastisk energi og har en længere elastisk stivhed. Derfor har de ringe stress-relaxation og hysterese, så de ligger altid omkring kollagene fibre/sener/ledbånd, da dette sikre dem mod overstræk.

Udover sener findes også ledbånd, hvilket kaldes ligamenter når de ligger selvstændige og velafgrænede eller omkring ledkapsler. Derfor har de også to forskellige funktioner

1. De har en mekanisk funktion ligesom senerne, hvor de ligger omkring led med en meget præcist afstemt længde. Denne funktion holdes ved lige ved daglig udstrækning af ligamentet ved gang og brug mm. Hvis det udstrækkes mere specifikt og længerevarende, vil fibrene og grundsubstansen ændre sig, så det bliver stærkere og længere.
2. De har en mekanoreceptorisk funktion: De er udstyret med spædingsreceptorer som er forskellige i forhold til både tærskelværdi og hastigheden hvormed de adapterer. De registrer ændringer ved udspænding af ligamentet og kan sende signaler til CNS omkring leddet placering og om det er ved at nå yderstillingen (ved yderstillingen activeres også smertereceptorer)

Ved skade af et ledbånd, vil man lettere skade det anden gang da dens deformitet øges førend der sendes signal til CNS omkring yderstillingen af leddet (det bliver løst)