

I knoglevævet er grundsubstansen¹ mineraliseret, hvilket giver materialet dets stivhed og styrke.

• **Kollagene fibre:** Udgør hovedparten af muskelsener, ligamenter og læderhud, samt findes i knogler og brusk. Det er stærkt over for trækkræfter og elastisk med stor stivhed, hvilket er med til at beskytte strukturerne mod skader.

Der findes 5 typer af kollagen. Type 1 viser den største fiberdiameter og findes i ren form i sene- og knoglevæv. Type 2 findes i ledbrusk, i disci og i glaslegemet i øjet.

Bruskvæv: Brusk forekommer som hyalin brusk som det almindeligste, som fibrøs brusk i specielle områder som ledsriver, ledlæber og menisker samt som elastinbrusk i ørebrusken og visse strubebruske. Hyalinbrusk optræder tidligt i føtallivet som det første skelet. Her erstattes det efterhånden af knoglevæv, men findes dog permanent i ledbrusk og ribbensbrusk.

Brusk er et simpelt materiale, forstået på den måde, at det ikke først skal nedbrydes og nydannes.

Brusk er derfor et velegnet voksemedie, og dette udnyttes både ved fosterets vækst og ved den postnatale længdevækst i epifyseskiverne.

Knoglevæv og knogler: Skellet består af knogler; der igen består af knoglevæv samt visse bløddele. Knoglevævet er legemets tungeste væv og er udformet ud fra et masse-minimeringsprincip.

Makroskopisk angiver skelettet organismens form, størrelse og art.

De enkelte knogler fungerer som vægtstænger for musklerne, hvorfor de besidder stivhed og styrke. Skelettet beskytter desuden mange vigtige organer og rummer knoglemarven samt er et kalkdepot.

Sesamknogler er lejret ind i en sene, og løfter senen væk fra knoglen, så momentarmen bliver større. Den største sesamknogle er patellæ.

Klassifikation af knogler og knoglevæv: Knogler deles ud fra udseende, struktur og forbeningsmåde i lange, korte, uregelmæssige og flade knogler, mens knoglevævet, som de er struktureret af, deles i substantia compacta og spongiosa.

Forbening foregår i de bruskpræformerede knogler ud fra de primære, sekundære og tertiære ossifikationscentre, som optræder i det oprindelige hyaline bruskskelet efter en generel regel således, at de primære centre, typisk i rørgnoglernes skafter, opstår inden 2. føtalmåned, de

¹ Er en viskøs væske eller hydreret gel med et større eller mindre indhold af salte, proteoglykaner og ikke-specifik glykoproteiner.

sekundære i rørknoglernes ender (epifyserne) og i de korte knogler inden 2. leveår, og de tertiære i større knoglefremspring (apofyserne) inden 12. leveår.

- **Substantia compacta:** Er den bærende del og ligger uden på alt knoglevæv. Den har huller i materialet til kar, nerver og celler.
- **Substantia spongiosa:** Er den svampede del og består af et netværk af trabekler, som lægges i kompressions²- og traktionsretninger³, som bestemmes af de daglige belastninger. Knoglen er derimod yderst sårbar ved slag i horisontalplanet, dvs. vinkelret på trabeculi. Porerne er udfyldt af knoglemarv og blodkar.
- **Rørknogler:** Består af to ender (epifyserne) og et mellemliggende skaft (diafysen). Skaftet består af et tykt lag compacta omgivende en marvhule. Epifyserne er ledbærende og består af spongiosa som yderst har en tynd skal af compacta.
- **Korte knogler:** Opbygget ligesom de lange knoglers epifyser. Findes som håndrods- og fodrodsknogler.
- **Uregelmæssige knogler:** De er uregelmæssige i form og forbeningstidspunkter. De findes i ansigtsskelettet og som hvirvler i rygsøjlen.
- **Flade knogler:** Findes som stabile udspringsområder for muskler i bækkenringen og skulderbladet samt i neurokraniet. Knoglerne består af to lag compacta, som enten kan være adskilt af lidt spongiosa eller være sammensmeltet til en tynd plade. Neurokraniets flade knogler dannes ved desmal forbening og starter i de første fostermåneder.

Knoglernes bløddele:

- **Periost (benhinden):** Rigt vaskulariserede lag, som beklæder hele knoglen. Den indholder mange kar og nerver. Den dybere del indeholder det osteogene lag, hvis celler kan aktiveres til knogledannelse. Den er forbundet til substantia compacta ved sharpeyske tråde.
- **Ledbrusken:** Beklæder de knogleender, der vender ind mod ledhulerne; den består af hyalinbrusk, der har lille friktion og stor evne til at tåle tryk.
- **Knoglemarven:** Udfylder alle hulheder i knoglens indre. Halvdelen udgøres af det blodcelledannede røde knoglemarv, mens resten optræder i inaktiv form som den gule knoglemarv. Hos den voksne findes der rød knoglemarv i de proximale ekstremitetsender og i hovedets og kroppens knogler.

² Tryk.

³ Træk.

Knoglers kar- og nerveforsyning: Knoglevævet er rigt vaskulariseret. I en røknogle kan beskrives flere kargebeter, nemlig et diafysært, to metafysære og to epifysære.

Venesystemet er ligeledes veludviklet i knoglerne og følger oftest arterierne. Lymfekarrene findes kun i det overfladiske lag af periost.

Periost er rigeligt forsynet med sensitive nerver.

Mekaniske egenskaber:

- Knogler er inhomogene, dvs. de er uens opbygget af spongiosa og compacta.
- Knoglevæv er anisotropt, dvs. det har forskellige mekaniske egenskaber i forskellige retninger.
- Knoglevæv er viskoelastisk, hvilket medfører, at såvel styrke som stivhed øges ved øgede belastningshastigheder.
- Knoglevævet egenskaber varierer med alder, køn, kosten og den gennemsnitlige træningstilstand.
- Knoglevæv er trætbart.

Vækst og remodellering: Knoglevæv kan kun vokse og remodeleres efter forudgående nedbrydning. Knoglevævet udskiftes livet igennem for at tilpasse strukturen og mineraliseringsgraden til det gældende belastningsniveau, for at reparere mikrofrakturer og træthedsbrud og for at sikre levedygtigheden af osteocytterne. De celler der nedbryder knoglevæv, kaldes osteoklaster, mens de opbyggende hedder osteoblaster.

Nedbrydningen tager ca. 30 dage og genopbygningen ca. 90 dage. Området vil derefter normalt være hvilende i 2-3 år. Remodelleringsfrekvensen og den opnåede mineraliseringsgrad påvirkes af mekaniske belastninger, af vækst-, køns- og stofskiftehormoner, af parathyroideahormon⁴, af calcitonin⁵ samt tilstedeværelsen af D-vitaminer og calcium- og fosfationer.

Den videre vækst og omdannelse af knoglerne: Knogler vokser i tykkelse fra periost ved apposition, idet der sker en tilbygning på den ydre overflade og resorption fra den indre. Røknoglernes længde vækst foregår ved interstitiel vækst i overgangszonen mellem epifysen og diafysen. Epifyseskiverne er skelettets vækstorganer, i de små røknogler findes én epifyseskive og i de store to, hvoraf den dominerende epifyseskive findes i knoglens bredeste ende.

I 16-17 års alderen ophører vækstprocessen i epifyseskiverne, tidligst hos pigerne.

⁴ Stimulerer osteoklasternes aktivitet.

⁵ Stimulerer osteoblasternes aktivitet.

Fraktur: Ved fraktur overrives blodkarrene, og der skal derfor etableres nye blodkar til knoglen. Herefter dannes en primitiv bruskmødel, som senere omdannes til knoglevæv. Dette fremskyndes ved tryk på knoglen.

Tværstribet skeletmuskulatur: Mængden af muskler deles i den glatte muskulatur, som findes i karvæggen og i indvoldene, i hjertemuskulaturen og i den tværstribede skeletmuskulatur. Det er den sidstnævnte, der er af betydning for bevægeapparatet.

Den cellulære enhed er muskelfiberen, som er 50-150 μm i diameter og fra nogle få millimeter til ca. 10 cm lang.

Muskelfiberen har den specielle egenskab, at den kan modtage en nerveimpuls, udbrede den over hele sin længde og reagere på impulsen ved at frembringe mekanisk spænding ved:

- En koncentrisk kontraktion: Musklen forkortes.
- En isometrisk kontraktion: Musklen holder sin længde.
- En excentrisk kontraktion: Musklen forlænges.

I et mikroskop fremtræder muskelfiberen tværstribet, idet den er sammensat af en serie af sarkomerer, som er de egentlige kontraktile enheder.

Musklers organisation: Skeletmuskulaturen deles i brakialderiveret og myotomderiveret muskulatur, hvoraf førstnævnte udvikles fra de embryonale gællebuer og findes i hoved- og svelgområdet, mens sidstnævnte findes på hals, krop og ekstremiteter. Den myotomderiveret deles i den dybe rygmuskulatur, som forsynes af spinalnervernes dorsale grene, og i kropsvæggens og ekstremiteternes muskulatur, som innerveres af spinalnervernes ventrale grene.

Ekstremitetsmuskulaturen grupperer sig efter innervation, funktion og beliggenhed i fleksor- og ekstensormuskler. De to grupper er typisk adskilt af en centralt beliggende knogle med tilhørende septa intermuscularia.

En muskelgruppe på ekstremiteterne er en funktionel enhed, der ligger i en velafgrænset muskelloge og er forsynet af en fælles logenerve. Muskellogen er afgrænset af ekstremitetsfascien, af et eller flere septa intermuscularia.

I logen ligger enkeltmuskler, som beklædt med en tynd muskelfascie, så forskydninger let kan foregå.

Motoriske enheder: Muskler opdeles innervationsmæssigt i motoriske enheder. Ved en motorisk enhed forstås et alfa-motorisk forhornsneuron, dets axon samt de tværstribede muskelfibre, som axonet innerverer. De fint graduerede muskler, som fingermuskler har kun få (helt ned til 100) muskelfibre pr. axon, mens de grovere stillingsmuskler har op til 2000 fibre pr. enhed.

De muskelceller, der hører til samme motoriske enhed, ligger spredt mellem andre enheder. Er motorneuronet aktivt, vil alle muskelfibre i enheden deltage i kontraktionen. Inden for samme enhed er alle fibre ens, idet det er motorneuronet og dets funktion, der bestemmer muskeltypen.

Muskelfibre inddeles således i to hovedtyper:

- Røde, slow twitch type I-fibre: Udtrættes kun ringe pga. rigelig enzymer og organeller til at danne energirige forbindelser til brug for muskelkontraktion. Ved enkeltkontraktion opnås kraftmaksimum langsomt og kraften er lille.

- Hvide, fast twitch type II-fibre: Får energi fra lagre af energirige fosfatforbindelser. Ved en enkeltkontraktion opnås kraftmaksimum hurtigt, men fibre udtrættes hurtigt. Kraften er stor.

Hos mennesket er alle muskler blandede med ca. halvdelen af hver slags, som dog er genetisk bestemt.

Musklen på langs: Tilhæftningerne, hvoraf den nærmest det aksiale skelet kaldes udspring og den distale insertion. Rækkefølgen bliver da: Knogle; periost; udspringssene, som ofte breder sig ud i en udspringsaponeurose; muskelfibre; insertionsaponeurose, som samler sig i en insertionsse, som atter tilhæfter sig via periost i en knogle.

Aponeuroser og sener består af kollagent væv og udgør de serieelastiske komponenter. Mellem muskelfibre findes ligeledes kollagent væv, som udgør den parallelelastiske komponent.

Kontraktionslængde og kontraktionsstyrke: Fibrene i en muskel kan afgå til begge sider fra et centralt seneblad. Hvis de kødede fibre kun er tilhæftede den ene side af senen, kaldes musklen semipennat, og det regnes for at være en grundform. Hvis musklen er sammensat af flere semipennate enheder bruges udtrykket multipennat.

En muskels styrke er afhængig af antallet af fibre og disses tykkelse, mens kontraktionslængden er proportional med fiberlængden. Muskelstyrken er desuden afhængig af forkortelsesgrad og -hastighed og af faktorer som motivation og træthed. Ved en maksimal voluntær kontraktion (MVC) kan muskler under gunstige forhold præsterer en kraft på 30-40 N pr cm^2 muskel. Det fysiologiske tværsnitsareal er en sum af alle enkeltfibrener tværsnit, mens det anatomiske tværsnit er et tværsnit midt på muskelbugen.

Musklerne sidder få cm fra leddets omdrejningspunkt, hvorfor en lille forkortning fremkalder stor bevægelse. Almindeligvis arbejder muskler mellem 75 % og 120 % af udgangslængden.

Et sarkomer, og dermed også en hel muskelfiber kan forkorte sig 40%.

Muskelbevægelse: Bevægelsen kan enten være lineær, som kun er afhængig af kraft eller være rotatorisk som er kraft * arm = moment (Nm).

Musklers samarbejde og innervation: De fleste naturlige bevægelser iværksættes som et samarbejde mellem en række muskler.

- Den muskel, der i særlig grad er ansvarlig for bevægelsen, kaldes agonisten.
- De øvrige muskler, som virker på det pågældende led, og som udfører en koncentrisk kontraktion, kaldes synergistre¹, idet de understøtter bevægelsen.

De muskler, der arkiveres uden at fremkalde en bevægelse kaldes:

- Neutralisatorer, idet de ophæver uønskede bevægeudslag.
- Fiksatorer, idet de sikrer et stabilt udspring for efterfølgende muskler i en kæde af segmenter.
- Muskler, der samtidig udfører en ekscentrisk kontraktion omkring det pågældende led, kaldes antagonist², selvom de også er med til at styre og finregulere den samlede bevægelse.

Det er naturligvis nervesystemet, der regulerer disse ting, og mellem agonisten og antagonist består yderligere det forhold, at når agonisten kontraherer sig med maksimal styrke, afslappes antagonist helt. Dette kaldes reciprok inhibering af antagonist, og har til formål at koncentrere innervationsanstrengelsen og muskelstyrken til en maksimal ydelse.

En muskel forsynes af en blandet motorisk-sensorisk nerve, som grener sig yderligere, således at hver muskelfiber modtager én nerveudløber (axon), hvis terminale del sammen med sarcolemma danner en motorisk endeplade, hvori impulsen føres.

Funktionel anatomi: En analyse af musklers funktion i organismen må omfatte funktionen af muskelbugen, funktionen af den samlede muskel-sene-enhed, virkningen af de specielle toledsmuskler samt funktionen af de synergist-antagonist-kombinationer og muskelkæder, som den pågældende muskel indgår i.

- Muskelbugen: Omsætter kemisk energi til spænding og mekanisk arbejde. Den mekaniske spænding fremkalder et drejningsmoment i det eller de led, musklen passerer. Hvis musklen præsterer et større moment end den ydre byrde, vil leddet bevæges under musklens koncentriske kontraktion. Hvis det ydre moment er større end musklens moment, vil musklen blive strakt.
- Muskel-sene-enheden: Sene/aponeurosedelen vil som en serieelastisk komponent kunne optage energi, således at den fungerer som en mekanisk fjeder.

¹ Samarbejdere.

² Modarbejdere.

Musklernes karforsyning: Antallet af åbentstående kapillærer varierer med musklens funktionsgrad; i hvile er langt de fleste lukkede, men under muskelarbejde åbner de sig i stort antal. Antallet kan øges som følge af træning. Under større muskelspændinger kan kapillærene afklemmes mekanisk.

Lymfekarrene er meget sparsomme.

Vækst og træning: Den øgede muskelfylde og – styrke, som ses gennem opvæksten og som følge af fysisk træning skyldes først og fremmest en øgning af de enkelte muskelfibres indhold af kontraktile elementer, men også en vis øgning af antallet af muskelfibre.

Rigor mortis (dødsstivhed): Stivheden begynder efter et par timer og udvikler sig derefter gradvist i løbet af det første døgn, hvorefter den atter taber sig.

Musklernes kontraktile proteiner (aktin og myosin) har en indbygget tilbøjelighed til at reagere med hinanden og derved få musklerne til at kontrahere sig. I den levende organisme foregår en bortpumpning af Ca^{2+} -ioner fra reaktionsstedet, hvorved musklerne afslappes. Det er altså en energi-krævende proces at holde muskulaturen afslappet, og rigor optræder derfor, når musklernes intracellulære energidepoter er ved at være udtømte. Når stivheden atter slipper skyldes det, at den postmortelle proteolytiske proces efterhånden får muskelproteinerne til at henfalde.

SENER OG LEDBÅNDS BIOMEKANIK

INTRO
SLIMSÆK + SENESKED
LED

INTRO

- aponeuroser + sener består af kollagent bindevæv, som tåler stort træk
- ses ofte i sammenhæng med muskler

SLIMSÆK MM.

- > nedreter frktion fascia = bindevævs adskillelser
- vagina fibrosa

LED

vægte led -> skellet stykkerne er forbundet af et støtlevæv og har 3 eller flere frihedsgrader

rette -> ledhule (- 3 frihedsgrader)

synkondroses

primær
sekundær

deformationer af ledbånd

sener overføre kraft

ligamentar bremses uregelmæssige bevæg.

C-vitaminer

Sener:

Aponeuroser og sener består af kollagent væv og udgør de serieelastiske komponenter. Sene/aponeurosedelen vil som en serieelastisk komponent kunne optage energi, således at den fungerer som en mekanisk fjeder.

Mellem muskelfibrene findes ligeledes kollagent væv, som udgør den parallelelastiske komponent.

Sener og aponeuroser: Senen, tendo, kan være rund eller flad. Er den flad og bred benævnes den en aponeurose. Undertiden er senen så kort, at den næppe er synlig; i sådanne tilfælde siger man, at musklerne har kødet tilhæftning.

Hele senen er beklædt med et tyndt bindevævslag, peritendineum.

Fibre har et let bølgeformet forløb, hvilket betinger en forlængelse af senen, når de udrettes.

En muskel kan desuden være forsynet med en eller flere mellemsener, hvorved muskelkødet mere eller mindre fuldstændigt opdeles i mindre enheder.

I en del tilfælde er en muskels udsprings- eller insertionsdel forsynet med en senebue, som tjener til fæste for muskelfibre.

På de steder, hvor en sene er udsat for særligt stærk friktion, udvikles ofte en lille opsvulmning, der efterhånden omdannes til det mere trykresistente fibrocartilago eller endog til en lille sesamknogle. Senevævets regenerationsevne er god.

Slimsække og seneskeder: På de steder, hvor en muskel eller en sene under kontraktionen gnider mod en anden muskel, sene, ledbånd eller knogle, findes ofte en væskefyldt blære, en slimsæk, som tjener til at nedsætte friktionen. Slimsækken opstår ved væskeudtrædning i bindevævet, således at der efterhånden opstår en tyndvægget blære. Løber senen i en tunnel og er underkastet friktion på alle sider, dannes en rørformet slimsæk omkring senen, benævnt seneskede. Dette ses på fod og hånd.

- Slimsække, bursae synoviales: Interponerede mellem sener og led, og kommunikerer ofte med ledhulerne. De kan findes intertendinøst, subfascielt og subkutant.

- Seneskederne, vaginae synoviales tendinum: Rørformede slimsækker, som omgiver de lange sener på de steder, hvor friktionen er stor på alle sider af senen. De findes først og fremmest ud for håndled og fodled samt på tæer og fingre.

Seneskedden anlægges imellem vagina fibrosa og senen som en slimsæk, der efterhånden synker ned omkring senen. Seneskedden får på den måde to blade, et visceralt blad, som beklæder selve senen, og et parietalt blad, som udfører den osteofibrøse kanal.

Fascier: Fibrøse hinder eller skeder, som omgiver mange muskelgrupper eller enkeltmuskler. De har til opgave at binde musklerne ind til skelettet og hindre for store lejeforandringer af de enkelte muskelindivider under kontraktion.

De er ved septa intermuscularia bundet ind til skelettet.

Ledbånd:

Bevægelse i enten **parallelforskydninger** (3 frihedsgrader: Transversale, sagittale og vertikale) eller **vinkelbevægelser** (3 frihedsgrader).

Ophængt i led vil legemet til gengæld for stabiliteten miste en eller flere frihedsgrader og få bevægeomfanget i de øvrige reduceret mere eller mindre. Der kan kompenseres for dette ved at addere en kæde af bevægelsesorganer.

Inddeling af led:

- Uægte led: Skeletstykkerne er forbundet af et støttevæv og har 3 eller flere frihedsgrader.
- Ægte led: Indskudt en ledhule, og har mellem 1 og 3 frihedsgrader.

Uægte led: Inddeles efter forbindelsesmateriallets art:

- Syn-desmoser (fibrøse): Bevægeligheden er fri, men med et pludseligt stop i den retning, hvori fibrene forløber. Det er den eller de frihedsgrader, som mangler, der sætter ledbåndets styrende og begrænsende funktion.

- Synkondroser (kartilaginøse): Inddeles i primære og sekundære synkondroser:

- Den primære synkondrose: Består af hyalin brusk med et perichondrium af bindevæv på overfladen.

- * Permanente: Ribbensbrusk. Transitoriske: Epifyseskiverne.

- Symfyse / den sekundære synkondrose¹: Består af en blød masse af viskøs væske omgivet af koncentriske lameller af fibrøst brusk, samt to endeplader af hyalin brusk, hvormed den er hæftet til knoglerne. Har ingen kar og nerver, og ernæres ved diffusion gennem de to endeplader.

¹ Se figur 1.

- * Leddene mellem hvirvellegemerne (Corpus vertebrae).
- Synostoser: Forbenede led.

Ledkinesiologi: Kombinerer den mekaniske fysiks love med de anatomiske forhold i et levende led, som bevæges af levende muskler.

Der må her skelnes mellem ekstremiteternes og leddenes bevægelser.

- For ekstremiteter og segmenter angives bevægeretning og bevægeomfang.
- For leddene gælder det bevægelserne mellem de involverede ledflader. Et ledhoved kan bevæges på 3 måder i forhold til en ledskål: Rullebevægelsen, glidebevægelsen og rotationsbevægelsen.

Stressrelaksation: Efter en bestemt deformation opnåede spænding i et viskoelastisk væv henfalder eksponentielt med tiden². I sener og ligamenter kan relaksationen efter 20 sekunder beløbe sig til omkring 20 %.

Krybning: Hvis spændingen over materialet holdes konstant, vil det forlænges eksponentielt ud over den i første omgang opnåede deformation³.

Under varieret brug opstår let lokale stresskoncentrationer, idet alt der er elastisk indbyder til fiberbrud og start på en revne, der så begynder at vandre.

Fordelen ved at materialet stressrelakserer, er at belastningerne fordeles og jævner sig, så brudrisikoen reduceres.

Hysteres: Ved en elastisk deformation tabes altid en vis del af den tilførte energi i form af varme⁴. Hvis hysteresen er over 50 % kaldes strukturen en støddæmper, ved lille hysteres kaldes strukturen en fjeder.

Sener overfører kraft til skelettet, mens ligamenter kun bremser ved farlige ledstillinger⁵.

Dannelse og vedligeholdelse af de kollagene fibre er afhængige af ernæringen og specifikt af en tilstrækkelig tilførsel af C-vitamin. Ved mangel på dette vitamin nedsættes mængden af kollagene fibre, og støttevævene bliver svækkede. Tilstanden, der kaldes skørbug, vil bl.a. medføre, at tænder løsnes og bristninger og blødninger opstår i ledbånd og knogler.

² Se bilag 1.

³ Se bilag 2.

⁴ Se bilag 3.

⁵ Se bilag 4.