

LIHASKOE STRUKTUUR JA TALITLUS

VAHUR ÖÖPIK

SKELETI-, SILE- JA SÜDAMELIHASKUDE

Lihaskude moodustab 40–50% inimese kehamassist. Lihaskude on kolme liiki: skeleti- ehk vöötlihas, silelihas ja südamelihhas. Liigist sõltumatult on lihaskoe kõige iseloomulikumaks omaduseks kokkutõmbe- ehk kontraktsioonivõime. Lihaskoes on vähe rakuvaheainet, lihaste põhimassi moodustavad lihasrakud.

Lihased, mis annavad inimesele liikumisvõime, moodustuvad skeletilihaskoest. Nimetus “skeletilihaskude” tuleb sellest, et need lihased kinnituvad luudele (skeletile). Skeletilihased alluvad tahtele, kuid enamasti töötavad need automaatselt, ilma et inimene peaks sellele otseselt mõtlema. Nii on see näiteks hingamislihas- tega, kuid ka kõndimisel ja jooksmisel ei ole reeglina vaja tegeleda sooritavate liigutuste teadliku kavandamisega.

Skeletilihaste kokkutõmbevõime tuleneb nende rakkudes (lihaskiududes) olevatest spetsiifilistest organellidest – müofibrillidest. Müofibrillid kujutavad endast valgulisi piki lihaskiudu paiknevaid niitjaid moodustisi. Lähemal vaatlusel koosnevad müofibrillid veelgi peenematest niitjatest struktuuridest, mida nimetatakse müofilamentideks. Viimaseid on kahte liiki – ühtedes (jämedamates) on peamiseks valgus müosiin, teistes (peenemates) aga aktiin. Lihase kokkutõmme on müofibrillide lühenemise tagajärg, mis omakorda tuleneb aktiini- ja müosiinifilamentide libisemisest üksteise vahele. Nimetus “vöötlihaskude” tuleb sellest, et aktiini ja müosiini väga korrapärase paiknemise tõttu müofibrillides paistab seda tüüpi lihaskude mikroskoobis vöödilisena.

Silelihaskude leidub veresoonte, seedetrakti, hingamisteede, kuseteede ja mõnede teiste õõneselundite seintes kihtidena. Silelihaskoest moodustunud üksikuid lihaseid on inimese kehas vähe. Silelihased ei kinnitu kunagi luudele ning nende talitus ei allu inimese tahtele. Ka silelihaste kokkutõmbevõime põhineb aktiinil ja müosiinil, kuid need valgud ei paikne silelihase rakus nii korrapäraselt kui vöötlihasrakus. Võrreldes vöötlihasrakkudega on silelihase rakud väikesed. Silelihased kontraheeruvad aeglasemalt ja arendavad kokkutõmbel väiksemat jõudu kui vöötlihased, kuid nad ka väsivad aeglasemalt kui vöötlihased. Silelihaste talitlusega reguleeritakse vererõhku, tagatakse soolestiku ja mao normaalne talitus ning rea muude funktsioonide toimimine inimese kehas.

Südamelihaskude esineb ainult südames. Sarnaselt skeletilihase kiududega on südamelihase rakud vöödilised tänu aktiini ja müosiini korrapärasele paigutusele.

Lihaskude moodustab 40–50% inimese keha massist. Lihaskude on kolme liiki: skeleti- ehk vöötlihas, silelihas ja südamelihhas. Lihased, mis annavad inimesele liikumisvõime, moodustuvad skeletilihaskoest

Skeletilihaste talitus allub inimese tahtele, sile- ja südamelihase talitus aga mitte. Silelihased reguleerivad vererõhku, tagavad soolestiku ja mao normaalse talitluse

NB!

Skeleti- sile ja südamelihase rakuline struktuur on erinev, kuid nende kõigi kokkutõmbe- võime põhineb kontraktiilsetel valkudel aktiinil ja müosiinil. Südamelihase olulisim ülesanne on katkematu vereringe tagamine

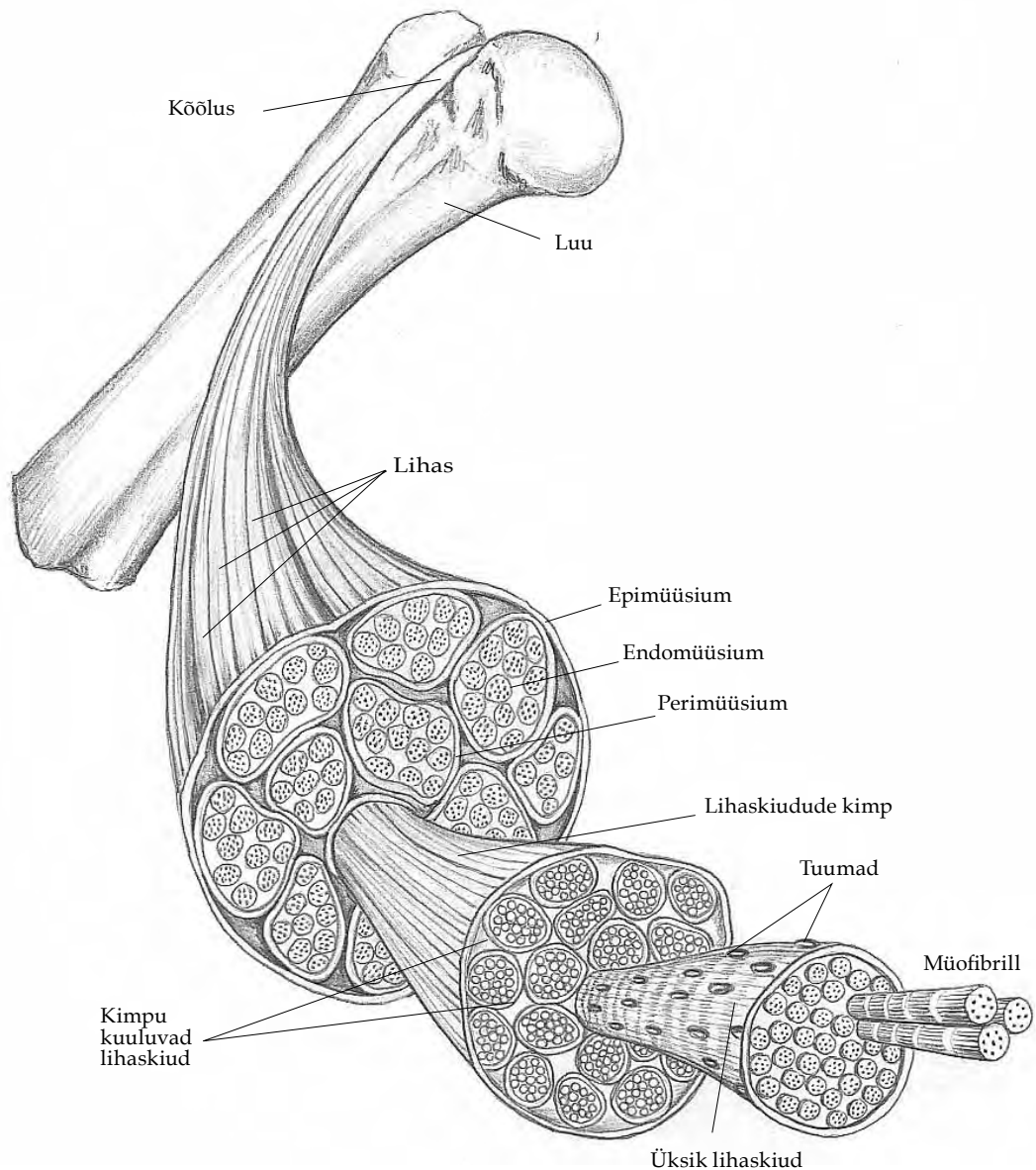
Endomüüsium, perimüüsium ja epimüüsium on erineva paksusega sidekoelised kattekihid, mis ümbritsevad vastavalt lihaskiudu, lihaskiudude kimpu ja kogu lihast ning tagavad seega lihase kui elundi struktuurse terviklikkuse

Südamelihase rakud hargnevad ning on otsapidi üksteisega tugevasti ühendatud, moodustades üheskoos otseku võrgustiku. Nii nagu silelihaste talitus, ei ole ka südame töö allutatav inimese tahtele. Südamelihase on praktiliselt väsimatu, süda hakkab tööle varakult enne inimese sündi ning toimib vahetpidamatult kuni surmani. Südame olulisim ülesanne on katkematu vereringe tagamine.

SKELETILIHASE STRUKTUUR

Skeletilihaseid on inimese kehas üle 600. Ainuüksi pöidla liigutamises osaleb üheksa lihast. Lihased koosnevad lihaskiududest, mille arv erinevates lihastes ulatub ligikaudu kümnest tuhandest enam kui miljonini.

Endomüüsium, perimüüsium ja epimüüsium on erineva paksusega sidekoelised kattekihid, mis tagavad lihase kui elundi struktuurse terviklikkuse (joonis 1). Endomüüsium on neist kõige õhem ning ümbritseb iga individuaalset lihaskiudu. Perimüüsium koondab individuaalsed lihaskiud kimpudesse. Epimüüsium, kõige paksem sidekoelistest kattekihtidest, seob lihaskiudude kimbud terviklikuks lihaseks.



Joonis 1. Skeletilihase kui elundi üldine struktuur. Üksikud lihaskiud on koondunud kimpudesse, kimpudest moodustub terviklik lihase. Luustikule kinnitub lihase kõõlustega.

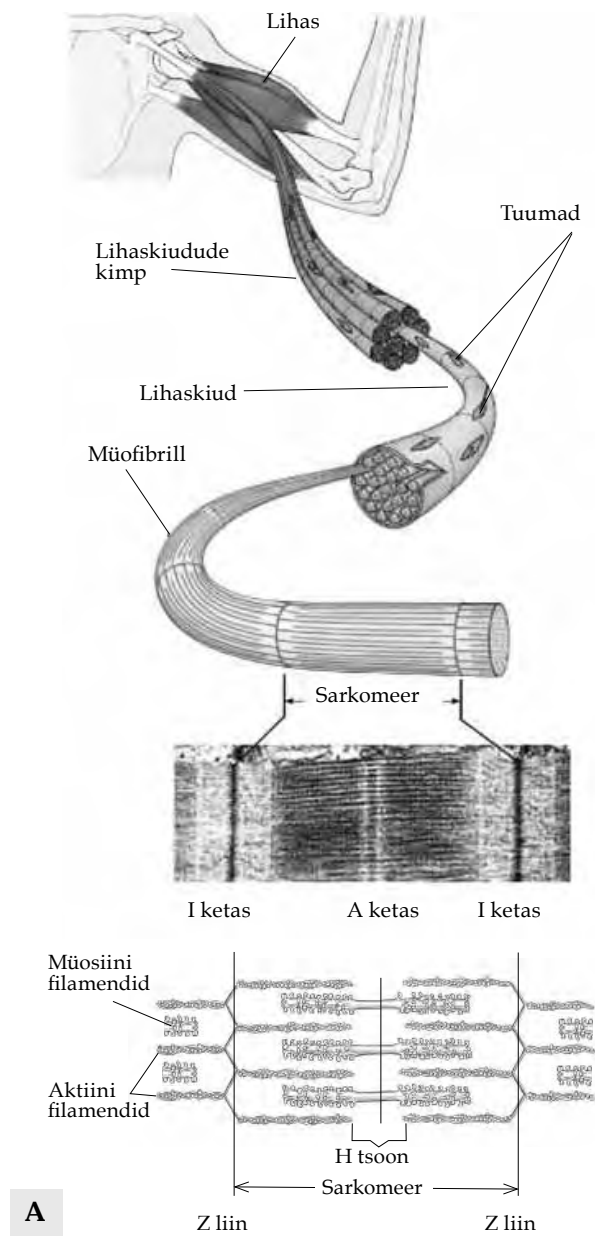
Vahetult endomüüsiumi alla jääb lihasku rakule plasmamembraan ehk sarkolemm. Sarkolemm ümbritseb lihaskiudu, selle otstes ühineb ta aga kõõlustega. Kõõlused moodustuvad kiulisest sidekoest ning nende kaudu kinnituvad lihased luudele. Kõõluste ülesandeks on lihase tekitatud jõu ülekandmine luukangidele.

Lihasku rakule sisemust – sarkolemmiga ümbritsetud ruumi – täidab viskoosne vedelik, mida nimetatakse sarkoplasmaks. Sarkoplasma sisaldab lahustunud valkuseid, mineraalaineid, glükogeeni, lipiide ja palju teisi aineid, sarkoplasmas paiknevad kõik lihasku rakule organellid.

Lihasku rakule spetsiifilised organellid on müofibrillid, millel põhineb lihaste kontraktiilsus ehk kokkutõmbevõime. Müofibrillid on niitjad valgulised moodustused, mis kulgevad piki lihaskiudu ning täidavad suurema osa rakusisest ruumist. Nagu eelnevalt mainitud, koosnevad müofibrillid peentest aktiini ja jämedatest müosiini filamentidest (joonis 2).

Müosiinifilamendid koosnevad müosiinimolekulidest. Igas müosiinimolekulis on eristatav pea- ja sabaosa. Müosiinimolekulide pead sirutuvad müosiinifilamendist ristisuunaliselt välja kõrvalasetsevate aktiinifilamentide suunas. Aktiinifilamendi koostisse kuuluvad peale aktiini ka troponiin ja tropomüosiin, mis on samuti

Müofibrillid on lihasku rakule spetsiifilised organellid. Müofibrillidel põhineb lihaste kontraktiilsus ehk kokkutõmbevõime



B

Joonis 2. Müofibrill, müofilament ja sarkomeer. (A) Müofibrillid on niitjad valgulised struktuurid, mis kulgevad piki lihaskiudu. Nad koosnevad omakorda peenematest niitjatest struktuuridest – müofilamentidest. Viimaseid on kaht liiki – suhteliselt jämedad müosiini filamentid ja peened aktiini filamentid. Lihase mikrofotol on küljevaates näha heledamad (I-ketas) ja tumedamad (A-ketas) vöödid, mis tulenevad müosiini ja aktiini korrapärasest paiknemisest müofibrillides. I-ketas on ala, kus paiknevad ainult aktiini filamentid, A-ketas aga piirkond, kus aktiini ja müosiini filamentid on valdavalt vaheldumisi. A-ketta keskele jäävas heledamas alas on ainult müosiini filamentid. Valguse koostisega membraanid – Z-liinid – läbivad müofibrille kindla vahemaa tagant ristisuunas. Kahe Z-liini vahele jääv müofibrilli osa on sarkomeer. (B) Müosiini ja aktiini filamentide paiknemine müofibrillis otsavaates.

A

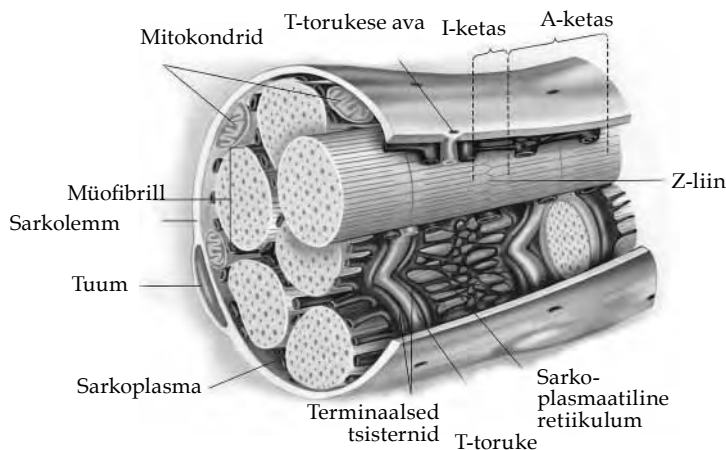
NB!

Niitjaid müofibrille läbivad regulaarselt kindla vahemaa tagant ristisuunalised valgulise koostisega membraanid – Z-liinid. Kahe järjestikuse Z-liini vahele jäävat müofibrilli osa nimetatakse sarkomeeriks. Sarkomeer on lihase elementaarne funktsionaalne (kokkutõmbevõimeline) üksus

valgud. Piki aktiinifilamenti paiknevad nn aktiivsed punktid, kuhu müosiinimolekulide pead lihasku kokkutõmbe teostamiseks kinnituda saavad.

Müofibrilli, aga ühtlasi ka lihaskiu ja kogu lihase elementaarseks funktsionaalseks üksus on sarkomeer (joonis 2). Sarkomeeri moodustab müofibrilli osa, mis jääb kahe järjestikuse Z-liini vahele. Z-liinid on valgulise koostisega membraanjad moodustised, mis läbivad müofibrille ristisuunas regulaarselt kindla vahemaa järel. Puhkeseisundis (lõõgastunud) lihaskius on kahe järjestikuse Z-liini vahemaa ehk sarkomeeri pikkus ligikaudu 2,5 µm. Iga müofibrill koosneb suurest hulgast üksteisega järjestikku ühendatud sarkomeeridest. Pikimad lihaskiud inimese organismis on ligikaudu 12 cm pikkused, mis vastab umbes 480 000–500 000 järjestikuse sarkomeeri kogupikkusele. Müofibrillis, mille läbimõõt on ligikaudu 1 µm, paikneb sarkomeeri keskosas ligi 450 jämedat filamenti, mis sarkomeeri otstes on ümbritsetud 900 peene filamendiga.

Sarkolemm moodustab lihaskiu suhtes ristisuunalisi torujaid sissesopistusi, mis suunduvad sügavale raku sisemusse ning ulatuvad müofibrillide vahele ja ümbritsevad neid. Seda torukeste süsteemi nimetatakse T-süsteemiks (joonis 3). Sarkoplasmaatilise retiikulum kujutab endast samuti torukeste süsteemi, kuid erinevalt T-süsteemist ümbritseb see müofibrille pikisuunalise võrgustikuna ega avane sarkolemmi pinnale (joonis 3). Kindla vahemaa tagant ühinevad sarkoplasmaatilise retiikulum torukesed paksenenud moodustisteks, mida nimetatakse terminaalseteks tsisternideks. Terminaalsete tsisternide piirkonnas on sarkoplasmaatilise retiikulum tihedas kontaktis T-süsteemiga. Sarkoplasmaatilise retiikulum sisaldab rohkesti kaltsiumi.

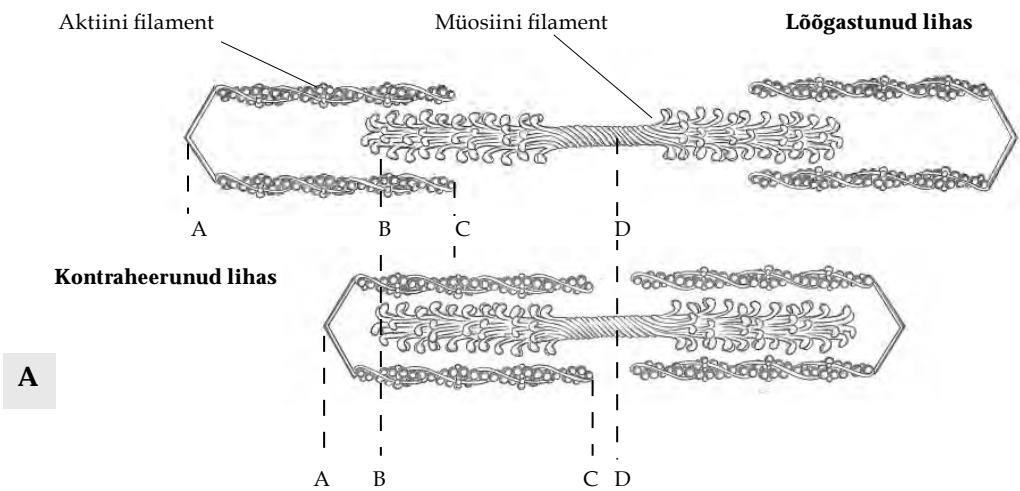


Joonis 3. T-süsteem ja sarkoplasmaatilise retiikulum. T-torukesed moodustuvad sarkolemmi torujatest sissesopistustest. Sarkoplasmaatilise retiikulum ümbritseb müofibrille pikisuunaliselt ega avane erinevalt T-süsteemist lihaskiu pinnale. T-süsteem ja sarkoplasmaatilise retiikulum on lihasku sisemuses omavahel tihedas kontaktis

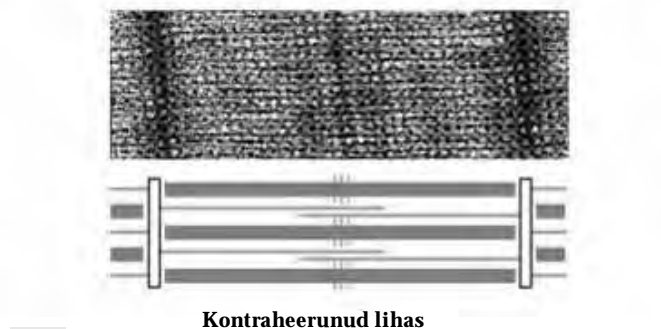
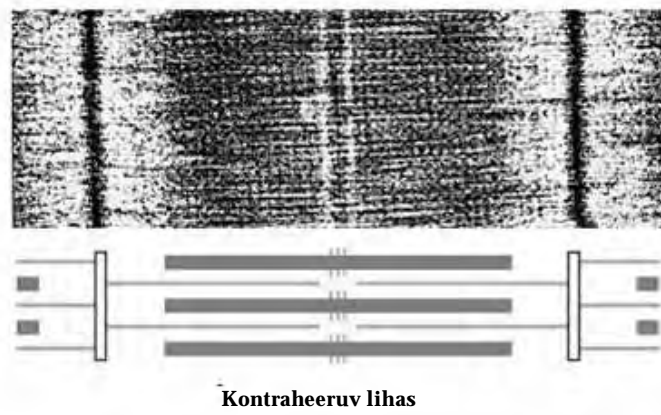
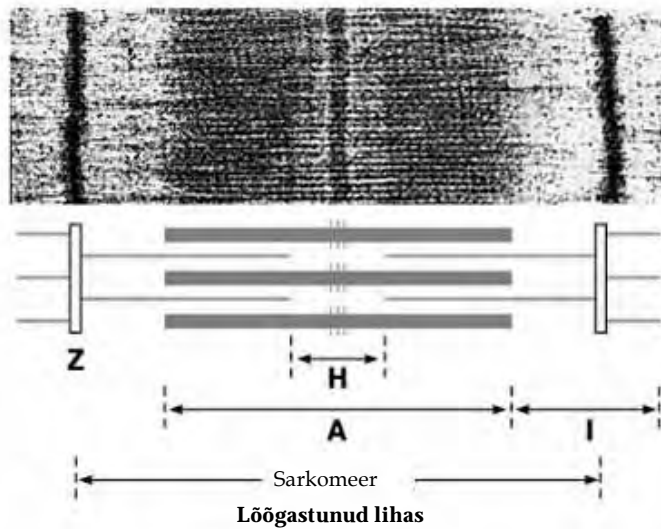
SKELETILIHASE TALITLUS

Skeletilihaste talitlus on närvisüsteemi kontrolli all. Selle kontrolli kõrgemad keskused paiknevad ajukoos. Närvirakud, mis juhivad otseselt lihaste talitlust, paiknevad seljaajus. Nende aksonid väljuvad närvide koosseisus seljaajust ja ulatuvad lihasteni.

Närvid kujutavad endast närvirakkude pikkade jätkete kimpusid. Need jätked hargnevad, harud ulatuvad lihaskudeni ja moodustavad seal sünapse. Sünaps on struktuur, mille kaudu närvirakus tekkinud ning närvi kaudu levinud erutus kantakse üle lihaskule. Närvisüsteemis levib erutus elektrilise impulsina, kuid lihaskule kantakse see üle keemilisel teel. Keemiline ühend, mis närviimpulsside mõjul sünapsis vabaneb ja lihasku membraani mõjutab, tekitab seal elektrilise erutuslaine, mis piki rakumembraani kiiresti edasi levib. T-torukeste kaudu jõuab see erutuslaine ka lihasku sisemusse ning kandub üle sarkoplasmaatilise retiikulum, millel on kontaktid T-süsteemiga. Sarkoplasmaatilise retiikulumist vabaneb seepeale suur kogus kaltsiumi, mida seal rohkesti leidub. Kaltsiumi kontsentratsioon sarkoplasmas kasvab plahvatuslikult ning kaltsiumioonid mõjutavad



A



B

Joonis 4. Lihaskontraktsioon. (A) Lihase kokkutõmme põhineb aktiini filamentide tõmbamisel müosiini filamentide vahele, mille tulemusena sarkomeer lüheneb. Kokkutõmbejõu tekitavad ristsillakesed, mis lähtuvad müosiini filamentidelt, kontakteeruvad aktiini filamentidega ning tõmbavad kõverdudes viimaseid sarkomeeri keskosa suunas kokku. (B) Mikrofotod lõõgastunud ja kontraheeruvast lihasest. Selgesti on näha kahe Z-liini lähenemine teineteisele, samuti I-ketaste laiuse vähenemine kuni nende täieliku kadumiseni maksimaalselt kontraheerunud lihases. Skemaatilised kujutised fotode all selgitavad müosiini ja aktiini filamentide paiknemist kokkutõmbe eri faasis.

Skeletilihaste talitlust juhivad närvissüsteem. Närvikius elektriliselt leviv erutus kantakse lihaserakule üle keemilisel teel. Seejärel vallandab lihaserakus leviv erutuslaine sarkoplasmaatilise retikulumist kaltsiumi, mis paiskub sarkoplasmasse ning kutsub esile aktiini ja müosiini filamentide üksteise vahele liikumise.

NB!

Lihase kontraherumise (lühendamise) võime põhineb lihaskiudude lühendamise võimel. Viimase aluseks on aktiini- ja müosiinifilamentide tõmbumine üksteise vahele, mille tulemusel sarkomeer (müofibrill) lüheneb, ilma et muutuks aktiini- ja müosiinifilamentide pikkus

Väliselt ja seesmiselt struktuurilt väga sarnased lihaskiud erinevad siiski märgatavalt kokkutõmbemiskiiruse ning energiavarustuse eripära poolest. Nende iseärasuste alusel tehakse vahet eri tüüpi lihaskiududel. Inimesel eristatakse kolme tüüpi lihaskiudusid, mida tähistatakse I, IIa ja IIx

aktiinifilamenti valkusiid. Viimastes toimuvad muutused, mis võimaldavad müosiinifilamentide ristsillakestel aktiinifilamentidega nn aktiivsete punktide kaudu kontakteeruda. Järgneb ristsillakeste kõverdumine, mille tulemusel aktiinifilamentid tõmmatakse müosiinifilamentide vahele – sarkomeer lüheneb (joonis 4).

Ristsillakeste kõverdumine tõmbab aktiini filamentide edasi vaid vähesel määral. Ulatuslikum lihaskontraktsioon on võimalik tänu sellele, et ühe tõmbetsükli sooritanud ristsillake eraldub aktiinifilamentidest, pöördub algasendisse tagasi ning kontakteerub juba järgmise aktiivse punktiga aktiinifilamenti pinnal. Järgneb uus kõverdumine ja aktiinifilamenti edasinihutamine. Ristsillakeste tsükliline talitlus tagab sarkomeeri ulatusliku lühendamise.

Järjestikku paiknevate sarkomeeride lühendamise tulemusel lüheneb müofibrill tervikuna, müofibrillide lühendamise tagajärjel lüheneb lihaskiud, lihaskiudude lühendamine tähendab aga lõppkokkuvõttes kogu lihase lühendamist (kontraheerumist). Lihaste lühendamine tekitab jõu, mis kõõluste vahendusel kantakse luudele. Lihased, luud ja liigesed moodustavad inimese kehas erinevaid kangisüsteeme. Luukangide liigutamine lihaste jõul annab inimesele liigutuste sooritamise ja ruumis liikumise võime. Veelgi enam, ka inimese kõnevõime põhineb kindlate lihaste täpsel ja koordineeritud talitlusel.

LHASKIUDUDE TÜÜPID

Üldjoontes on kõigi skeletilihaskiudude ehitus ja talitlus ühesugune. Lähemal vaatlusel aga ilmnevad erinevate lihaskiudude vahel olulised erinevused, mille alusel on neid võimalik jaotada teatud tüüpideks. Lihaskiudude klassifitseerimiseks on kasutusel erinevaid süsteeme. Kõige üldkasutatavam on lihaskiudude jaotamine aeglaseks oksüdatiivseteks, kiireteks oksüdatiiv-glükolüütilisteks ja kiireteks glükolüütilisteks kiududeks. Alternatiivne tähistusviis nimetatud kolmele põhilisele kiudtüübile on vastavalt I, IIa ja IIx (tabel 1). Varasemas kirjanduses on IIx tüüpi kiudusid tähistatud IIb tüüpi kiududena.

Lihaskiud erinevad esiteks kokkutõmbemiskiiruse poolest. Kaasaegsed uurimismetodid võimaldavad väikesest lihaskoe proovist üksikuid lihaskiudusid eraldada ja otseselt mõõta nii nende kontraktsiooni kiirust kui ka kokkutõmbemiskiirust ja võimsust. Ilmneb, et kiirete kiudude (tüübid IIa ja IIx) kontraktsiooni kiirus ületab aeglase (tüüp I) vastavat näitajat 5–6 korda. Erinev on ka aeg, mis kulub lihaskiududel pärast stimuleerimist maksimaalse kokkutõmbemiskiiruse saavutamiseni – inimese lihase aeglastel kiududel on see umbes 110 ms, kiiretel aga vaid 50 ms. Maksimaalne jõud, mida erinevat tüüpi lihaskiud suudavad arendada, on nende võrdse läbimõõdu korral ligikaudu samasugune. Lihaskiudude kokkutõmbemiskiirus (ajahüvikus kiu pikkusühiku kohta arendatav jõud – mN/mm/s), on aga väga erinev – kiired kiud ületavad aeglasi selle parameetri osas 5–6 korda.

Teiseks ilmneb suuri erinevusi lihaskiudude aine- ja energiavahetuses. Aeglastes kiududes domineerib aeroobne energiatootmise süsteem, nad on võimelised efektiivselt oksüdeerima nii süsivesikuid kui ka rasvhappeid. Sellest tulenevalt iseloomustab aeglasi oksüdatiivseid lihaskiude võime töötada mõõduka intensiivsusega pikka aega – nad on hea vastupidavusliku võimekusega. Kiiretes glükolüütilistes lihaskiududes seevastu domineerib anaeroobne energiatootmise viis, seda tüüpi kiudude võime erinevate ühendite oksüdeerimiseks on kasin. Anaeroobsed mehhanismid võimaldavad vajadusel toota lühikese ajaga suure hulga ATPd, mis omakorda teeb võimalikuks kiirete ja suure võimsusega kontraktsioonide sooritamise. Kiired glükolüütilised lihaskiud aga väsivad võrreldes aeglase oksüdatiivsete kiu-

Tabel 1. Lihaskiudude tüübid

Tunnus	Tüüp I	Tüüp IIa	Tüüp IIx
Talitus			
Kokkutõmbe kiirus	Väike	Suur	Suur
Lõögastumise kiirus	Väike	Suur	Suur
Kokkutõmbe võimsus	Väike	Suur	Suur
Vastupanuvõime väsimusele	Suur	Keskmine	Väike
Ainevahetus	Tüüp I	Tüüp IIa	Tüüp IIx
Oksüdatiivne potentsiaal	Kõrge	Kõrge	Madal
Glükolüütiline potentsiaal	Madal	Kõrge	Kõrge
Müosiini ATPaasne aktiivsus	Madal	Kõrge	Kõrge
Kreatiini kinaasi aktiivsus	Madal	Kõrge	Kõrge
Substraadid	Tüüp I	Tüüp IIa	Tüüp IIx
Müoglobiini sisaldus	Suur	Keskmine	Väike
Glükogeeni sisaldus	Väike	Suur	Suur
Triglütseriidide sisaldus	Suur	Keskmine	Väike
Fosfokreatiini sisaldus	Väike	Suur	Suur
Ehitus	Tüüp I	Tüüp IIa	Tüüp IIx
Mitokondrite tihedus	Suur	Keskmine	Väike
Kapillaaride tihedus	Suur	Keskmine	Väike
SR arengutase	Madal	Kõrge	Kõrge
Kiu diameeter	Väike	Keskmine	Suur

dudega väga ruttu. Kiired oksüdatiiv-glükolüütilised kiud jäävad mitme omaduse, sealhulgas vastupanuvõimega väsimusele I ja IIx tüüpi kiudude vahele. Nende aeroobne potentsiaal on madalam kui I tüüpi kiududel, kuid kõrgem kui IIx tüüpi lihasrakkudel. IIa tüüpi lihasrakkude võimekus anaeroobseks energiatootmiseks on praktiliselt sama hea kui IIx tüüpi kiududel.

LIHASTE KIULINE KOOSTIS

Inimese lihased on segalihased, sisaldades erinevat tüüpi lihaskiudusid. Keskmine I, IIa ja IIx kiudude osakaal on seejuures vastavalt ligikaudu 50%, 25% ja 25%. Erinevat tüüpi kiudude proportsioonid varieeruvad siiski indiviiditi suures ulatuses. Näiteks vastupidavusalade tippsportlaste seas on teada inimesi, kelle jalalihastes on aeglaste oksüdatiivsete lihaskiudude osakaal üle 90%. Seevastu tippsprinterite lihastes domineerivad ülekaalukalt kiired lihaskiud.

Üldine seaduspärasus on, et indiviidi ala- ja ülajäseme lihased on sarnase kiulise koostisega. Seega nendel, kelle jalalihastes on suur kiirete lihaskiudude osakaal, ilmneb sama ka käelihastes. Mõnede lihaste puhul see reegel siiski ei kehti. Näiteks lest-sääremarjalihases on kõigil inimestel suur aeglaste oksüdatiivsete kiudu proportsioon.

I tüüpi lihaskiud kontraheeruvad aeglaselt, neis domineerib aeroobne energiatootmise süsteem. IIa tüüpi lihaskiud kontraheeruvad kiiresti, neis toimib hästi nii aeroobne kui ka anaeroobne energiatootmise süsteem. IIx tüüpi lihaskiud kontraheeruvad kiiresti, neis domineerib anaeroobne energiatootmise süsteem

Inimese lihased on segalihased, nad koosnevad erinevat tüüpi kiududest. Erinevat tüüpi kiudude osakaal lihastes on individuaalselt suures ulatuses varieeruv

NB!

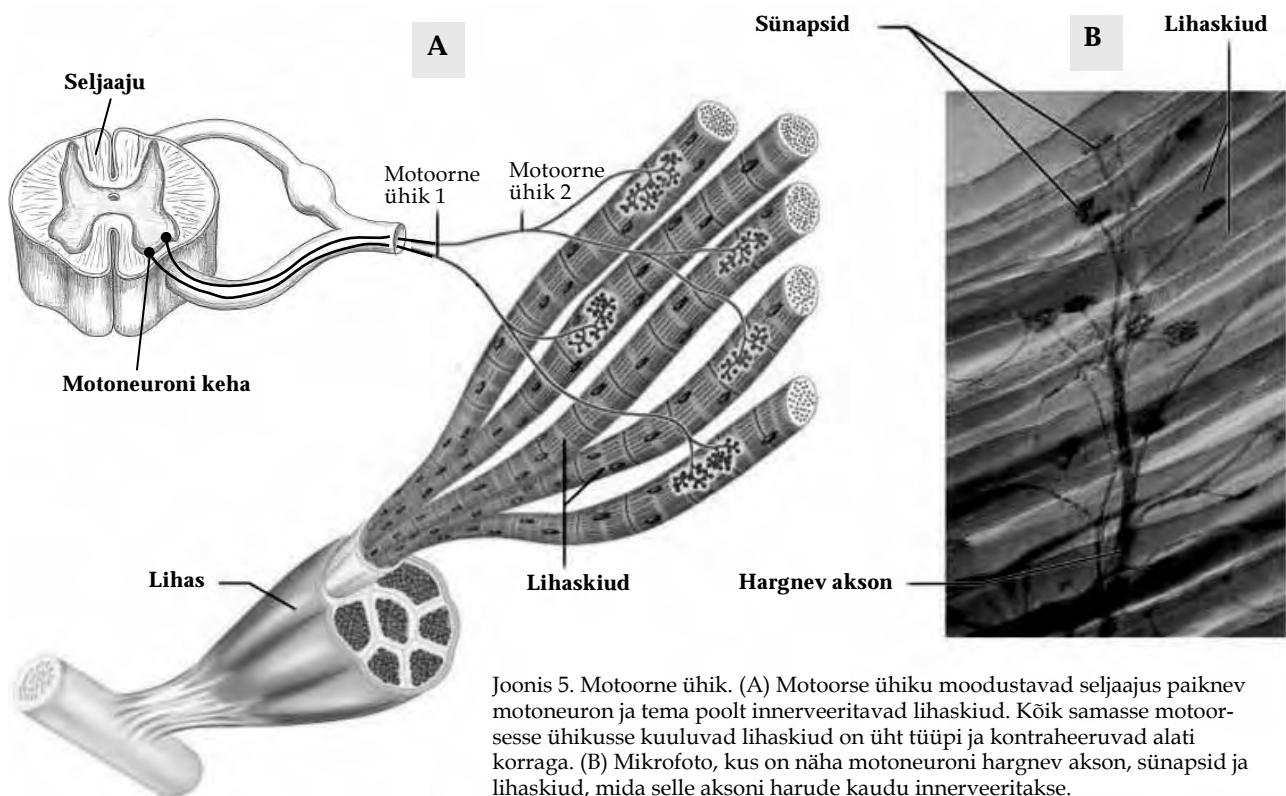
Motoorne ühik koosneb alfamotoneuronist ja selle innerveeritavatest lihaskiududest. Samasse motoorsesse ühikusse kuuluvad lihaskiud on kõik üht tüüpi ning nad kontraheeruvad lihase aktiivsuse korral alati üheaegselt

MOTOORNE ÜHIK

Nagu eelnevalt mainitud, kontrollib lihaste talitlust närvisüsteem. Liigutustegevuse juhtimise kõrgeimad keskused paiknevad ajukoore kindlates piirkondades ning kujutavad endast närvirakkude kogumeid, millest lähtuvad lihastele suunatud närviimpulsid. Niisuguseid närvirakke nimetatakse mootorseteks neuroniteks ehk motoneuroniteks. Ajukoore motoneuronite pikad jätked ei ulatu siiski otseselt lihasteni, vaid üksnes seljaajus paiknevate alumiste ehk alfamotoneuroniteni. Alles viimaste aksonid väljuvad seljaajust närvide kooseisus, suunduvad lihastesse, hargnevad ning ühenduvad sünapside kaudu lihasrakkudega.

Alfamotoneuron ja tema innerveeritavad lihaskiud moodustavad motoorse ühiku (joonis 5). Samasse motoorsesse ühikusse kuuluvad lihaskiud on kõik üht tüüpi ning nad kontraheeruvad alati korraga. Aeglastest ja kiiretest lihaskiududest koosnevad motoorsed ühikud erinevad mitte üksnes ühikusse kuuluvate lihasrakkude arvu, vaid ka nende talitlust juhtivate alfamotoneuronite omaduste poolest. Aeglaste motoorsete ühikute motoneuronid on võrdlemisi väikesed, närviimpulsid liiguvad piki nende aksoneid suhteliselt aeglaselt ning need innerveerivad 10 kuni 180 lihaskiudu. Seevastu kiireid lihaskiude innerveerivad neuronid on suured, suur on ka närviimpulsside liikumise kiirus nende aksonites ning igaüks neist kontrollib keskmiselt 300–800 lihasraku talitlust. Lihaskiudude arv motoorses ühikus sõltub ka konkreetse lihase funktsioonist. Näiteks silmalihastes, mis sooritavad suure täpsusastmega liigutusi, on lihaskiudude arv motoorse ühiku kohta ligikaudu 15. Seevastu kaksikäsuremarjalihases ja teistes suuremates lihastes, mille puhul liigutuste täpsus ei ole esmase tähtsusega, võib motoorsesse ühikusse kuuluda isegi 2000–3000 kiudu.

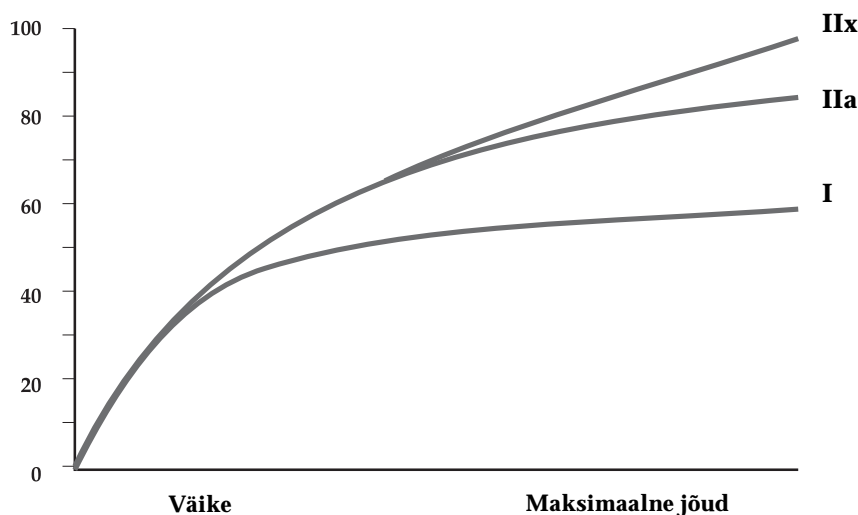
Ühte motoorsesse ühikusse kuuluvad lihaskiud paiknevad lihases vaheldumisi teiste motoorsete ühikute kiududega ning võivad seetõttu üksteisest võrdlemisi kaugele jääda. Lihase kui terviku kontraktsiooni tugevus ja kiirus sõltub sellest, kui palju ja missuguseid motoorseid ühikuid korraga aktiveeritakse.



Joonis 5. Motoorne ühik. (A) Motoorse ühiku moodustavad seljaajus paiknev motoneuron ja tema poolt innerveeritavad lihaskiud. Kõik samasse motoorsesse ühikusse kuuluvad lihaskiud on üht tüüpi ja kontraheeruvad alati korraga. (B) Mikrofoto, kus on näha motoneuroni hargnev akson, sünapsid ja lihaskiud, mida selle aksoni harude kaudu innerveeritakse.

ERINEVAT TÜÜPI MOTOORSETE ÜHIKUTE AKTIVEERIMINE

Aktiivsete mootorsete ühikute arvu reguleeritakse vastavalt sooritatava töö intensiivsusele (arendatava jõu suurusele). Kuni liigutustegevus nõuab vaid vähese või mõõduka jõu rakendamist, aktiveeritakse peamiselt aeglased oksüdatiivsed lihaskiud (joonis 6). Mõõduka või suure jõupingutuse korral lülitatakse töösse ka kiired oksüdatiiv-glükolüütilised lihaskiud. Glükolüütilised lihaskiud aktiveeritakse vaid maksimaalse pingutuse korral. Siiski ei aktiveerita praktiliselt kunagi lihase kõiki mootorseid ühikuid üheaegselt, isegi mitte maksimaalse pingutuse korral. Tulenevalt kirjeldatud seaduspärasusest leiavad inimese lihastes kõige sagedamini kasutatust I tüüpi lihaskiududest koosnevad motoorsed ühikud, kõige harvem aga IIx tüüpi lihaskiud.



Joonis 6. Erinevat tüüpi mootorsete ühikute aktiveerimine lihases kehalisel tööl. Lihases olemasolevaid mootorseid ühikuid ei aktiveerita kunagi kõiki korraga. Erinevat tüüpi lihaskiududest koosnevad motoorsed ühikud lülituvad töösse vastavalt vajaliku jõupingutuse astmele. Vähese koormuse korral töötavad üksnes aeglastest oksüdatiivsetest kiududest (tüüp I) koosnevad motoorsed ühikud. Koormuse suurenedes lülituvad töösse ka kiiretest oksüdatiiv-glükolüütilistest kiududest (tüüp IIa) koosnevad motoorsed ühikud. Glükolüütilistest lihaskiududest (tüüp IIx) koosnevad motoorsed ühikud aktiveeritakse vaid maksimaalse või sellele väga lähedase jõupingutuse korral.

PEATÜKIS ESINEVAD MÕISTED

Aeglane oksüdatiivne lihaskiud	lihaskiud, mille kokkutõmbe kiirus on väike ja mille energiavarustuses on suurima tähtsusega aeroobne energiatootmise süsteem.
Akson	närviraku ehk neuroni pikk jätke.
Alfamotoneuron	närvirakk, mis paikneb seljaajus ja mis oma aksoni kaudu innerveerib skeletilihases lihasrakke.
Aktiin	üks kahest valgust, millel põhineb otseselt lihaste kokkutõmbumise võime; moodustab lihases peeneid ehk aktiinifilamente.
Endomüüsium	õhuke sidekoeline kattedkiht, mis ümbritseb lihaskiudu.
Epimüüsium	suhteliselt paks sidekoeline kattedkiht, mis ümbritseb lihast tervikuna.
Innerveerima	närviga varustama; närvi kaudu stimuleerima.
Kiire glükolüütiline lihaskiud	lihaskiud, mille kokkutõmbe kiirus on suur ja mille energiavarustuses on suurima tähtsusega anaeroobne energiatootmise süsteem.

NB!

Lihasesse kuuluvaid mootorseid ühikuid ei aktiveerita lihase aktiivsuse korral üheaegselt. Aktiveeritavate mootorsete ühikute osakaal kõigi mootorsete ühikute hulgas sõltub töö intensiivsusest (pingutuse suurusest).

NB!

Kiire oksüdatiiv-glükolüütiline lihaskiud	lihaskiud, mille kokkutõmbe kiirus on suur ja mille energia-varustuses on oluline roll nii aeroobsel kui ka anaeroobsel energiatootmise süsteemil.
Kontraktsioon	lühenemine, kokkutõmbumine.
Motoorne ühik	alfamotoneuron ja selle innerveeritavad lihaskiud.
Müofibrillid	valkudest koosnevad niitjad moodustised, millel põhineb lihaste kokkutõmbumise võime.
Müofilamendid	müofibrillide koostisosad, viimastest peenemad valkudest koosnevad niitjad moodustised; eristatakse peeneid ehk aktiinifilamente ja jämedaid ehk müosiini filamente.
Müosiin	üks kahest valgust, millel põhineb otseselt lihaste kokkutõmbumise võime; moodustab lihastes jämedaid ehk müosiinifilamente.
Perimüüsium	sidekoeline kattedkiht, mis ümbritseb lihaskiudude kimpu.
Sarkolemm	lihasraku membraan.
Sarkomeer	lihase elementaarne funktsionaalne üksus; ehituslikult on sarkomeer müofibrilli osa, mis jääb kahe järjestikuse Z-liini vahele.
Sarkoplasmaati-line retiikulum	lihasrakus müofibrille ümbritsev torukeste süsteem, mis sisaldab rohkesti kaltsiumiioone.
Sarkoplasma	lihasraku sisemust täitev viskoosne vedelik, milles paiknevad raku organellid.
Sünaps	käesolevas kontekstis struktuur, ühendustüli, mille kaudu erutus närviraku aksonilt kantakse üle lihasrakule; aksonis levib erutus elektrilisel teel, sünapsis kantakse see lihasrakule üle keemilisel teel.
Tropomüosiin	müofibrillide, täpsemini aktiinifilamendi koostisse kuuluv valk, millel on (nagu ka troponiini) lihasraku kokkutõmbe mehhanismis reguleeriv tähtsus.
Troponiin	müofibrillide, täpsemini aktiinifilamendi koostisse kuuluv valk, millel on (nagu ka tropomüosiinil) lihasraku kokkutõmbe mehhanismis reguleeriv tähtsus.
T-süsteem	sarkolemmi torujas sissesopistus, mis on lihaskiu suhtes ristisuunaline ja ulatub sügavale kiu sisemusse müofibrillide vahele.
I tüüpi lihaskiud	vt aeglane oksüdatiivne lihaskiud.
Ia tüüpi lihaskiud	vt kiire oksüdatiiv-glükolüütiline lihaskiud.
Iix tüüpi lihaskiud	vt kiire glükolüütiline lihaskiud.
Z-liin	valgulise koostisega membraanjas moodustis, mis läbib müofibrille ristisuunas; Z-liinid korduvad regulaarse vahemaa tagant, mis puhkeseisundis lihaskiuis on ligi 2,5 µm.

Kordamisküsimused:

1. Selgita sarkomeeri mõistet ja ehitust.
2. Kirjelda lihase kontraheerumise mehhanismi, kasutades selleks mõisteid müofibrill, müofilament, ristsillake ja sarkomeer.
3. Kirjelda lühidalt kolme erinevat tüüpi lihaskiudusid nende olulisimate tunnuste alusel.
4. Selgita motoorse ühiku mõistet, kirjelda erinevate mootorsete ühikute aktiveerimise printsiipi erineva raskusastmega kehalisel tööol.