
Lihaskudos ja lihaksen supistuminen

- Aktiopotentiali saapuu motoriseen päätelevyyn
 - Leviää sarkolemmaa pitkin
 - Leviää T-järjestelmään
- Sarkoplasmaattisesta kalvostosta vapautuu kalsiumioneja
 - Sitoutuvat troponiiniin
 - Troponiini siirtää syrjään tropomyosiinin, joka peittää aktiinin aktiivisia kohtia
 - Aktiini pääsee reagoimaan myosiinin kanssa
- Myosiinin päät tarttuvat aktiiniin kemiallisella sidoksella
 - Poikittaissillan muodostuminen
 - Kankeamislake => filamentit liukuvat lomittain ja sarkomeeri lyhenee, lihas supistuu

Soluluranko (cytoskeleton)

- Rakente, jonka tehtävänä on toimia filamenttien ohella voimantuotossa
 - Kohdistaa filamentit toisiinsa
 - Välittää muodostuneen voiman sarkomeerista lurankoon
- Kaksi ristikköä
 - Endomeerinen soluluranko
 - Vastaa aktiini- ja myosiinifilamenttien asennon säilymisestä sarkomeerissa
 - Titiniä ja nebuliinia
 - Titini kiinnittää filamentit välilevyyn (Z) => keskinäinen sijainti säilyy
 - Nebuliini säätelee aktiinifilamentin pituutta ja toimii yhtenä komponenttina filamenttien välisessä vuorovaikutuksessa
 - Eksosarkomeerinen soluluranko
 - Muodostaa yhteyksiä, joiden avulla sarkomeerissa muodostuva voima välittyy lihaksen sisäiseen yhdyskudokseen ja edelleen lurankoon
 - Koostuu myofibrillien välisistä välifiibereistä ja keskeiskiinnikkeistä (costameerit), jotka kiinnittävät myofibrillit sarkolemmaan ja lihasfiiberit endomysiumiin tai lihas-jänne-liitokseen.

Jänne

- Joustava, kollageenisista koostuva nauhamainen muodostuma
 - Rinnakkaisia, lähekkäin pakattuja kollageenisyytä
 - Enimmäkseen tyyppi I syytä, mutta myös tyyppiä III ja V
 - Syytä pitävät yhdessä muut proteiinit, lähinnä proteoglykaani, dekoriini ja aggregaani
- Yhdistää lihaksen luuhun
 - Välittää voimaa lihaksesta lurankoon
 - Varastoi elastista energiaa
- Jatkuu varsinkin pennaatorakenteisissa lihaksissa lihaksen sisälle aponeuroosina
- Lämmittely ja jänteet
 - Vähentää jäykkyyttä ja lisää kykyä kestää räsitystä vaurioitumatta
- Kokonaisuutena viskoelastisuus vähäisempää kuin muilla biologisilla kudoksilla
 - Jäykkyys auttaa voimavälitystehtävässä
- Toimintakyvyn muutokset
 - Vähäinen käyttö, ikääntyminen ja steroidien käyttö heikentävät
 - 40-50 vuotta rajapyykki
 - Aktiivinen räsitys lisää

Sensoriset reseptorit, nivelreseptorit ja lihassukkula

- Sensoriset reseptorit tarjoavat järjestelmälle tietoa sen omasta ja ympäristön tilasta
- Voidaan luokitella sijainnin, toiminnan tai rakenteen perusteella tai sen mukaan, aistivatko ne järjestelmän tilaa vai ulkoisia muuttujia
- Järjestelmän tilaa aistivat reseptorit
 - Lihassukkulat
 - Monimutkaisin sensorisista reseptoreista
 - Aistii lihaksen venytystä ja lihasjännitystä
 - Osallistuu lihasliikkeiden säätelyyn
 - Koostuu 2-10 sukkulan sisällä olevasta lihassyystä ja hermosyistä
 - Intrafusaalisyyt (ohuempia) ja ektrafusaalisyyt (paksumpia)
 - Alfamotoneuroni muodostaa liitoksen ektrafusaalisyihin
 - Lihassukkulan sisällä efferenttihermotuksen hoitavat gammamotoneuronit
 - Jokaisesta lihassukkulasta lähtee keskushermostoon ainakin kaksi aistinhermon syytä
 - Lihassukkulan avulla keskushermosto voi määrittää nivelkompleksin sijainnin ja asennon, minkä lisäksi venytys voi viestiä järjestelmälle systeemin ulkopuolisista häiriöistä.
 - Jänne-elimet
 - Sijaitsevat lihas-jänne-liitoksessa
 - Huomattavasti lihassukkulaa yksinkertaisempia
 - Aistivat lihaksesta tulevaa informaatiota koskien kehon asentoa ja liikkeitä
 - Reagoivat lihasjännitykseen (= lihaksen tuottamaan voimaan)
 - Säätävät lihaksen supistumista, estävät liian voimakkaat ja nopeat supistukset
 - Suojaava vaikutus perustuu alfamotoneuronien inhibitioon
 - Nivelreseptorit
 - Nivelessä sijaitsevia mekanoreseptoreita
 - Ruffinin päätteet, Pacinin kappaleet, Golgin päätteet ja vapaat hermopäätteet
 - Aistivat lähinnä liikettä (ml. Kulmanopeus ja kiihtyvyys)
- Ulkoista tilaa aistivat reseptorit
 - Iholla mekanoreseptoreita
 - Merkelin kappaleet, Meissnerin keräset, Ruffinin päätteet ja Pacinin kappaleet
 - Aistivat painetta, ja venytystä

Aktiopotiaalin ioniperusta

- Lepotilassa vallitsee transmembraaninen potentiaali, joka perustuu kalvon erottamien tilojen ionikonsentraatioista johtuvan kahden voiman, sähköisen ja kemiallisen voiman, tasapainoon.
 - Sisäpuoli negatiivisesti varautunut
- Solu voi depolarisoitua esimerkiksi hermovälittäjäaineen vaikutuksesta
 - Välittäjäainetta sitoutuu solukalvon pinnan ionikanaviin, jotka aukevat
 - Solukalvon läpäisevyys muuttuu, ioneja virtaa soluun, lepojännite rikkoutuu
 - Natriumkanavat aukeavat => natriumionit soluun, sisäpuolen jännite positiiviseksi
 - Potentiaalia leviää solukalvolla eteenpäin
 - Kun jännite riittävän korkea, Na-kanavat sulkeutuvat (refraktaariaika) ja kaliumkanavat aukeavat => kalvojännite palautuu negatiiviseksi (repolarisaatio)

Aktiopotentialin syntymekanismi

- Aktiopotentialia edeltää aina synaptinen potentialiaali
 - Aktiopotentialiaali edellyttää ärsytyskynnyksen ylittymistä
 - Aksonikeossa syntyy signaali, aktiopotentialiaali
 - Kaikki-tai-ei-mitään –periaate
 - Aksonikekoon tulevan signaalin kasvaessa kasvaa aktiopotentialien muodostumistaajuus => taajuusmodulointi

Ärsytys-supistus –kytkentä

- Prosessit, joiden avulla motoneuronin käsky muunnetaan lihasfiibereiden tuottamaksi voimaksi
- Neljä perusvaihetta
 - Aktiopotentialin eteneminen sarkolemmaa pitkin
 - Aktiopotentialin leviäminen sisäänpäin poikittaisessa tubulussysteemissä
 - Kytkentään liittyvät ionien siirtymät, jotka mahdollistavat poikittaissiltojen muodostumisen
 - Poikittaissiltojen muodostuminen aktiini- ja myosiinifilamenttien välille

Poikittaissiltojen toimintasykli

- Kalsiumin aiheuttaman disinhibition seurauksena tapahtuvaa aktiinin ja myosiinin vuorovaikutusta kutsutaan poikittaissiltojen toimintasykliksi
- Sykli voidaan jakaa neljään vaiheeseen
 - Muodostunut aktiini-myosiini-poikittaissilta purkautuu nopeasti ATP:n sitoutuessa myosiiniin
 - Vapaa myosiini siirtyy kohtaan, jossa se voi kiinnittyä aktiiniin ja samalla ATP hydrolysoituu
 - Vapaa myosiini ja hydrolyysituotteet kiinnittyvät uudelleen aktiiniin
 - Poikittaissilta tuottaa voimaa ja aktiini hävittää reaktiotuotteet
- Askel neljä on se, joka rajoittaa poikittaissiltojen muodostumisnopeutta. Tämän jälkeen sykli voi alkaa alusta.

Voima-pituus –riippuvuus

- Lihaksen supistusvoima riippuu sarkomeerien pituudesta
 - Kuinka paljon poikittaissiltoja voidaan muodostaa
 - Optimipituus, joka on yleensä suunnilleen sama kuin lihaksen lepopituus
- Lihaksen venyminen
 - Filamentit kauemmaksi toisistaan => vähemmän poikittaissiltoja
- Lihaksen piteuden pieneneminen
 - Aktiinifilamentit menevät päällekkäin => vähemmän poikittaissiltoja

Short-range stiffness

- Eksentrisen lihassupistuksen aikana lihaksen jäykkyys alussa suuri, mutta vähenee supistuksen jatkuessa
- Johtuu poikittaissiltojen toiminnasta
 - Kun lihasta venytetään, poikittaissillat venyvät => poikittaissillan tuottama voima kasvaa
 - Voima kasvaa jatkuvasti hitaissa venytyksissä, nopeissa ensin kasvaa ja alkaa sitten vähentyä
 - Kun venytys on jatkunut riittävän pitkään, poikittaissillat irtoavat ja kiinnittyvät uudelleen nopeasti

Motoristen yksiköiden tyypit

- Kolme tyyppiä
 - S
 - Hitaasti supistuvia, hyvin väsymystä kestäviä
 - Rekrytointikynnys alhaisempi, koostuvat pääasiassa I-tyyppin lihassoluista
 - FR
 - Nopeasti supistuvia, hyvin väsymystä kestäviä
 - Koostuvat pääasiassa IIa-tyyppin lihassoluista
 - FF
 - Nopeasti supistuvia, nopeasti väsyviä
 - Muita suurempia => aktiopotentiaalin johtuminen nopeampaa
 - Koostuvat pääasiassa IIb-tyyppin lihassoluista
- Jaottelu perustuu eläinkokeisiin; ei sellaisenaan sovellettavissa ihmiseen
 - Voidaan jaotella niiden tuottaman tetaanisen voiman ja supistuvuuden suhteen
 - Supistusmisnopeuden käyttö jaotteluperusteena ei mielekäästä
 - Useimmissa lihaksissa sekä hitaita että nopeita motorisia yksiköitä

Motoristen yksiköiden rekrytointi erilaisilla lihasjännityksillä

- Motoriset yksiköt rekrytoidaan aina samassa järjestyksessä (ja niistä luovutaan käänteisessä järjestyksessä)
- Rekrytoitavien motoristen yksiköiden suhteellisen osuuden suhde lihaksen tuottamaan suhteelliseen voimaan vaihtelee lihaksittain: esimerkiksi kaikki käden motoriset yksiköt tulevat rekrytoituiksi helpommin kuin kaikki käsivarren motoriset yksiköt.
- Kokoperiaate
 - Mitä pienempi motoneuroni on, sitä aiemmin sen hermottamat motoriset yksiköt rekrytoidaan
- Synapsien sijainti motoneuronin soomaan nähden, vapautuvan välittäjäaineen määrä synapseissa ja motoneuronin sähköiset ominaisuudet.

Resiprookkinen inhibiitio

- Agonistin ja antagonistin supistumisen välinen koordinaatio
- Tehokas ekstensorilihasten venytys on mahdollista vain, jos vastaava antagonistinen fleksori on inhiboitu interneuronin välityksellä.

Refleksin rooli ihmisen liikkumisessa

- Jonkin ärsykkeen laukaisema, aina lähes samalla tavoin toistuva ilmiö
- Perustuu refleksikaareen
 - Afferentti aistinhermosolu päätteinen
 - Efferentti hermosolu
 - Hermotettava elin (effektori)
 - Useimmissa tapauksissa merkittävässä roolissa myös välineuroni (= polysynaptinen heijaste; jos ei välineuronia = monosynaptinen heijaste)
- Välineuroni konvergoi syötteitä
 - Välineuroniin saapuneen tiedon kokonaisuus määrää vasteen
 - Vähentää refleksien stereotyyppisyyttä => joustavampi reagointi stimuluksiin
- Modifioivia mekanismeja
 - Samanaikainen inhibitio – paikallinen palautemekanismi
 - Renshawin solu (välineuroni) modifioi refleksiä
 - Myotaattinen heijaste eli venytysrefleksi
 - Lihaksen venytys aiheuttaa saman lihaksen supistumisen
 - Presynaptinen inhibitio
 - Afferenttia hermoviestiä muokataan ennen kuin se saavuttaa motoneuronin
 - Merkittävässä roolissa ihmisen liikkumisen säätelyssä

Lihaksen mekaaninen malli

- Lihaksen mekaanisessa mallissa lihas koostuu kahdesta komponentista
 - Aktiivinen supistuva komponentti (CE)
 - Poikittaissillat
 - Elastinen komponentti
 - Passiivista sidekudosta (mm. jänteet ja sidekudoskerrokset)
 - Peräkkäiset elastiset komponentit (SE)
 - Rinnakkaiset elastiset komponentit (PE)
- Komponenttien erottelu mekaanisesti helppoa, mutta komponenttien välisten rajojen määrittely on vaikeaa: esim. poikittaissilloilla on sekä supistuvan että elastisen komponentin ominaisuuksia.

Syttymistaajuus ja siihen vaikuttavat tekijät

- Lihaksen tuottama voima riippuu aktiivisten motoristen yksiköiden a) määrästä ja b) syttymistaajuudesta.
- Motoriset yksiköt eivät joudu tuottamaan voimaa maksimitehollaan
- Syttymistaajuus kasvaa voiman mukana: kun motorinen yksikkö on aktivoitunut, ja lihaksen voimantuotto kasvaa, syttymistaajuus kasvaa yleensä mukana
- Motoristen yksiköiden ärsytyskynnys vaikuttaa niiden syttymistaajuuteen
 - Kohtuullisilla voimatasoilla matalan ärsytyskynnyksen motoristen yksiköiden syttymistaajuudet näyttäisivät olevan korkeampia kuin matalan ärsytyskynnyksen motorisilla yksiköillä
- Alin syttymistaajuus yleensä noin 5-7 Hz, maksimisyttymistaajuus jopa 40 Hz, hieman lihaksesta riippuen

OSA 2

EMG – Analysis and interpretation

- Useimmiten rekisteröidään usean motorisen yksikön toimintaa => interferenssi-EMG
- Aktiopotentiaaleilla negatiivisia ja positiivisia vaiheita => ei hyvä analysoinnin kannalta
- Signaalia käsitellään ennen analyysia
 - Tasasuuntaus
 - Negatiiviset arvot käännetään positiivisiksi
 - Integrointi
 - Signaalista muodostetaan sen ylärajaa mukaileva käyrä
- Lopputulos korreloi hyvin mitatun voimakäyrän kanssa
- Mittaustulokset eri mittauskerroilta eivät ole keskenään vertailukelpoisia
 - Mittausolosuhteet vaihtelevat
 - Elektrodien tallennuskyky ei riittävä
- Normalisointi
 - Suhteessa MVC:hen tai sähköstimulaatiolla saatuun vasteeseen
- Analyysin lajit
 - Aikakenttäanalyysi
 - EMG:n kuvaajan toisena akselina aika
 - Taajuuskenttäanalyysi
 - Tutkitaan EMG:n taajuusspektriä
 - Motoristen yksiköiden syttymistaajuus
 - Motoristen yksiköiden synkronisaatio
 - Aktiopotentiaalien muoto

Magnitude of muscle force

- Lihaksen tuottama voima voidaan mitata suoraan vain jänneestä (= jännevoima)
- Mittausmenetelmiä
 - Solki
 - Jänne irrotetaan ja pujotetaan mittaussoljen läpi
 - Vaatii kirurgin, eettisesti arveluttava – ei enää yleisesti käytössä
 - Optinen kuitu
 - Viedään neulalla jänteen läpi
 - Mitataan kuidun kokoonpuristumista
- Epäsuora menetelmä
 - Lihaksen poikkipinta-ala
 - Poikkipinta-alan ja voimantuoton välillä lineaarinen suhde
 - Ongelmia
 - Poikkipinta-ala vaihtelee lihaksen pituudella
 - Voiman tuottoon ei koskaan osallistu vain yksi lihas
 - Agonistin maksimaalisen supistuksen aikana myös antagonistilla on tapana supistua
 - Koko lihasmassaa ei välttämättä voida aktivoida

Tendon and ligament elasticity

- Jäniteitä ja ligamenteja voidaan venyttää
 - Venymisen syyt: nivelkulman muutos/lihaksen supistuminen, nivelpintojen liike
- Venyvyys mahdollistaa elastisen energian varastoinnin
 - Lihastyön alkuvaiheessa osa tuotetusta voimasta (= energiasta) kuluu jänteen venyttämiseen
 - Jäniteestä tulee jäykempi
 - Elastista energiaa voidaan hyödyntää positiivisen työn aikana
 - Elastisuus voi parantaa hyötysuhdetta huomattavasti
- Jäniteiden voima-pituus –käyrä voidaan jakaa elastiseen ja plastiseen osuuteen
 - Elastisella alueella rakenne ei muutu ja jänne/lig. palautuu alkuperäiseen lepopituuteen
 - Plastisella alueella rakennemuutoksia => lepopituus pitenee ja käyrän muoto muuttuu
 - Kontrolloitu plastinen venytys => liikkuvuus lisääntyy (esim. balettianssijat)

Stride length and rate

- Alkuvaiheessa juoksuvauhdin kasvu johtuu ennen kaikkea askelpituuden kasvusta
- Kovempaa juostessa myös askelluksen tahti tihenee
- Askelpituuden kasvattaminen ensisijainen nopeuden kasvattamiskeino
 - Taloudellisempaa kuin askellustiheyden kasvattaminen

Muscle wisdom

- Väsyneen lihaksen motoristen yksiköiden syttymistäajuudessa tapahtuu muutos
- Väsymystä aiheuttavat, korkeavoimaiset lihassupistukset aiheuttavat syttymistäajuuden laskemisen
 - Ts. ohjausta on heikennettävä toonisen supistuksen estämiseksi
 - Tapahtuu vapaiden hermopäätteiden aistimusten (esim. happamuus) perusteella
- Ilmiötä ei ole havaittu vähävoimaisissa supistuksissa tai lihaksissa, joissa suurin osa motorisista yksiköistä on hitaita
- Muutos johtuu lihaksesta itsestään, ei hermotuksesta

Coactivation

- Agonistin ja antagonistin samanaikainen aktivoituminen
- Ei esiinny normaalitilanteessa
- Koaktivaatio jäykistää lihas-jänne –kompleksia ja siihen liittyviä niveliä => herkkyys häiriöille vähenee
- Hyödyllistä esim.
 - Suurta tarkkuutta vaativissa raajojen liikkeissä
 - Suunnanvaihtoja edellyttävissä tehtävissä: toonisen agonisti-antagonisti –aktiivisuuden modulointi taloudellisempaa kuin vuorotahtinen lihastyö
 - Raskaita taakkoja nostettaessa tai nostettaessa taakkoja, joiden massa epäselvä => koaktivaatio toimii suojamekanismina

- Raajojen lihasten väsymystä voidaan joissakin tapauksissa kompensoida koaktivaatiolla

Stiffness of passive muscle

- Passiivinen, käyttämätön lihas jäykistyy
- Tiksotropian erikoistapaus
 - Geeli muuttuu nestemäisemmäksi, kun sitä "häiritään" ja jäykistyy (= viskositeetti lisääntyy) kun häiriö loppuu
- Lihaksen tapauksessa tiksotropian aiheuttanee pysyvien siteiden muodostuminen aktiini- ja myosiinifilamenttien välille
- Jäykkyys sitä suurempaa, mitä kauemmin lihas saa olla "rauhassa"
 - Venytysten välisen ajan pidentyminen lisää lihaksen jäykkyyttä
- Merkittävät tekijä esim. immobilisaatiossa
 - Ilman kuntoutusta raajan lihakset voivat jäykistyä spastisiksi

Muscle soreness and damage

- DOMS, 24-48 h
- Lihasten arkuus
- Fysiologisia muutoksia
 - Plasman entsyymien (mm. kreatiinikinaasi) määrän lisääntyminen
 - Myoglobiinien määrän lisääntyminen plasmassa
 - Lihasten proteiinien hajottamistuotteiden lisääntyminen plasmassa
 - Lihaskuituissa rikkoumia
 - Lihasten toimintakyvyn aleneminen
 - Lihashäikkous
 - Voimantuoton väheneminen
 - Jäykkyys ja liikeratojen kaventuminen
- Johtuu lihaksen mekaanisesta vaurioitumisesta, mutta syntymekanismia ja syitä ei vielä tunneta tarkasti

Muscle fatigue : motor unit behaviour

- Syttymistaajuus vähenee MVC:n aikana, ei havaittu submaksimaalisessa työssä
- Submaksimaalisessa työssä EMG voimistuu = uusia motorisia yksiköitä rekrytoidaan
- Hitaat motoriset yksiköt kestävät isometristä työtä nopeita paremmin. Ne myös pystyvät ylläpitämään korkeampia voimatasoja konsentrisen työn aikana
- Väsytyksellä vaikuttaa motoristen yksiköiden aktiivisuuteen myös väsytyksen jälkeen: submaksimaalisen tavoitevoiman tuottamiseen saatetaan käyttää ennen ja jälkeen väsytyksen eri motorisia yksiköitä.

Plyometrinen harjoittelu

- Hyödyntää SSC:tä. Plyometrinen supistus = nopea eksentrisen liikkeen jälkeen seuraava eksentrisen liikkeen liike
- Lihas pystyy suurempaan positiiviseen työhön sen jälkeen, kun se on ensin supistunut eksentrisesti (elastisen energian varastoiminen)
- Vaikutuksia lihas-jänne-kompleksiin ja hermotukseen
- Tavoitteena nimenomaan tehon (ei voiman) kasvattaminen; lihassupistusten nopeus ja voima

Neuromusculat adaptation to reduced use

- Immobilisaatio
 - Voima ja EMG vähenevät
 - Atrofia
 - Hitaiden solujen määrä vähenee, nopeiden lisääntyy
 - Syttymiskynnys kasvaa ja syttymistiheys alenee
- Kuorman poisto
 - Poikkipinta-ala pienenee merkittävästi, jos kuormattomuus jatkuu riittävän pitkään
 - Proteiinisynteesin heikentyminen
 - Vaikuttaa suoraan tuotetun voiman määrään
 - EMG:ssä ei merkittäviä muutoksia, ei myöskään lihassolujakaumassa
- Keskushermostoleesiot
 - Välitön halvaus
 - Muuttuu muutamassa viikossa spastisuudeksi
 - Ei enää tahdonalaisia lihassupistuksia
 - Supistus voidaan aikaansaada ulkoisella ärsykkeellä
 - Halvaantuneilla havaittu myös ei-tahdonalaista lihasaktiivisuutta
 - Lihakset surkastuvat ja lihassolukoostumus muuttuu samalla tavoin kuin immobilisaatiossa