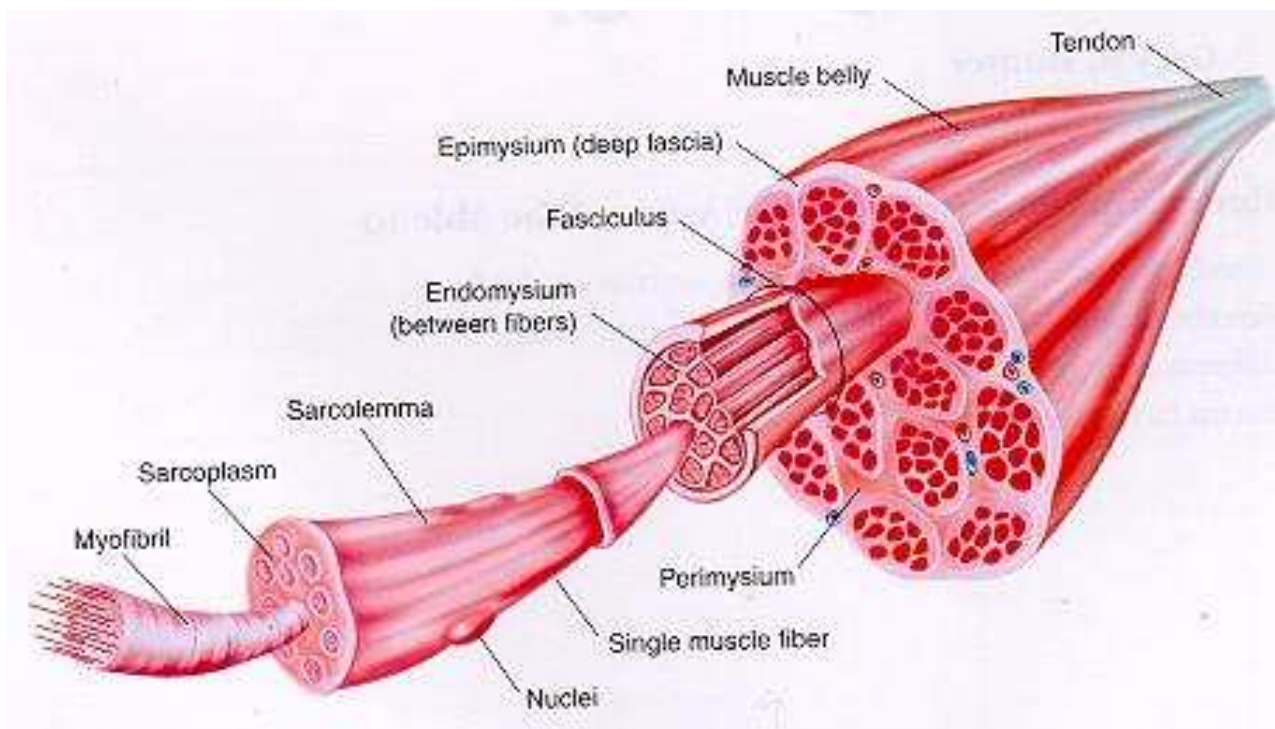


Teoriatietoa lihasten toiminnasta, huollosta, palautumisesta ja aineenvaihdunnasta

Tässä tarkastelen liikunnan vaikutusta lihasten aineenvaihduntaan ja rakenteeseen sekä sitä miten lihas palautuu rasituksesta.

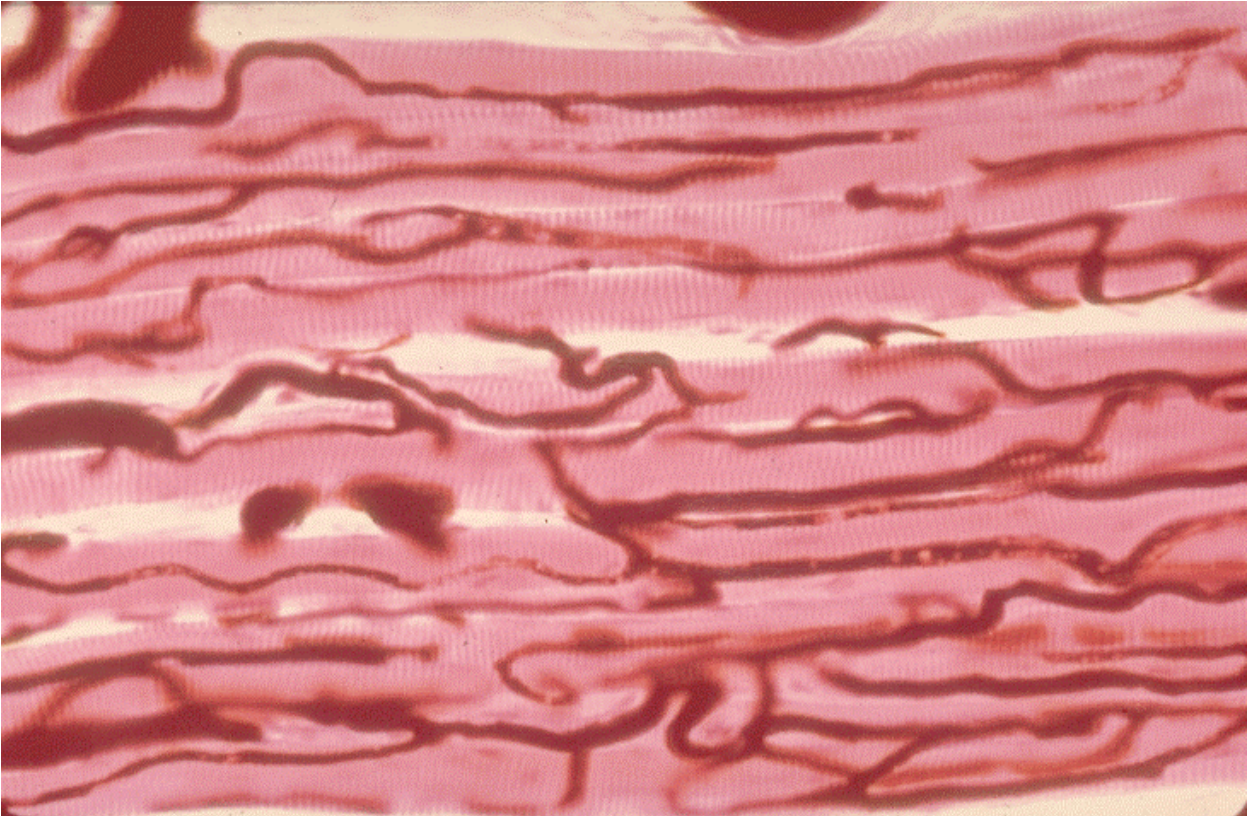
Liikuntaa voidaan pitää eräänlaisena ihmelääkkeenä moniin sairauksiin.

Lihaksen rakenne



Kaikki lihaksen energiatoiminnat tapahtuvat lihassolun solulimassa eli sarkoplasmassa.

Poikkijuovaisen lihaksen verenkierto rasituksessa



- Poikkijuovaisen lihaksen verisuonisto lisääntyy kun lihasta rasitetaan. Tämä on hyvä asia.
- Verisuoniston kehitys on selvä merkki siitä, että liikunta on tarpeeksi tehokasta. Mitä enemmän verisuonia, sitä enemmän lihasta voi kuormittaa ilman kovaa lihaksen väsymistä (ravintoa tulee lihakseen ja kuona-aineet pääsevät pois lihaksesta).

Poikkijuovaisen lihaksen aineenvaihdunta

- Poikkijuovaiset lihakset ovat tärkein rasvahappojen ja hiilihydraattien hapetuspaikka (tärkeää muistaa tämä asia painonhallinnassa!)
- Lepotilassa on lihaksen energiankulutus pientä

- Glukoosin pilkkoutuminen (glykolyysi) käynnistyy muutamassa sekunnissa tai korkeintaan minuutissa rasituksen alkamisesta.
- 25-50 lihassupistuksen jälkeen alkaa lihassolun sisäinen pH laskea merkkinä siitä, että glykolyysi on täysin käynnistynyt. Glykogeeni on supistuvan lihaksen tärkein energialähde.
- Samanaikaisesti kun lihas supistuessaan kuluttaa glykogeenia, alkaa muodostua glukoosista uutta glykogeenia. Mitä kovempi kunto sitä pitempään jaksaa liikkua.
- Glukoosin saamiseksi sisään lihassoluun, aktivoi insuliini lihassolun glykogeenisyntaasin sekä lisää GLUT4-transporterin muodostusta (erityinen kuljetusproteiini).
- Lukuisissa tutkimuksissa on todettu hiilihydraattien nauttimisesta olevan hyötyä ennen raskasta liikuntasuoritusta, suorituksen aikana tai sen jälkeen. Proteiinin tai aminohappojen lisääminen hiilihydraatteihin ei lisää glykogeenin kertymistä lihakseen rasituksen jälkeen.
- Lihas kasvaa hiilihydraateilla! Proteiinia tarvitaan lihasvammojen korjaamiseen ja lihassolujen uudistumiseen.
- Pitkittyneessä rasituksessa voi veren glukoosi muodostaa 40% lihaksen oksidatiivisesta (happea käyttävästä) aineenvaihdunnasta. Jos rasitus jatkuu pitkään (kolme-neljä tuntia tai enemmän) loppuvat maksan ja lihaksen glykogeenivarastot ja maksasolut alkavat tuottaa glukoosia glukoosin uudismuodostuksen (glukoneogeneesi) kautta elimistön muista aineista kuten maitohaposta tai aminohapoista.
- Rasituksen aikana vastaa maksa veren glukoositason säilymisestä.
- Noin puolentoista tunnin rasituksen jälkeen voimistuu rasvahappojen oksidatiivinen aineenvaihdunta energianlähteenä. Tämä on ominaisuus, joka on harjoitettavissa.

- Hyvän kestävyyskunnan merkkinä on, että kevyessä liikunnassa polttaa enimmäkseen rasvahappoja (glykogeneenia säästyy). Vähemmän liikuntaa harrastaneen herkempi väsyminen johtuu siitä, että hän polttaa koko ajan suuria määriä glykogeneenia suhteessa rasvaan.
- Valkuaisaineiden ja aminohappojen osuus lihasten energiatuotannosta jää aina alhaiseksi, eli 5-10 %. Vain haaraketjuiset aminohapot (leusiini, isoleusiini ja valiini) voidaan suoraan polttaa energiaksi lihaksessa.

Mitä elimistössä tapahtuu liikunnan aikana ja sen jälkeen?

- Normaalioloissa glukoosi toimii elimistön tärkeimpänä energialähteenä (10-12 tunnin paaston jälkeen on rasvahappojen osuus noin 80 % elimistön energiansaannista).
- Siksi paaston aikana liikunta on niin rankkaa ja tehotonta.
- Yli tunnin kestävässä kevyessä rasituksessa (30 % huipputehosta) kasvaa alaraajan verenkierto viisinkertaiseksi.
- Alaraajan hapenkulutus lisääntyy samanaikaisesti kymmenkertaiseksi.
- Glykogeneenia ja rasvahappoja pilkotaan koko ajan energiaksi.
- Maksan verenkierto vähenee liikunnan aikana 10-20 % sen takia kun lihakset tarvitsevat niin paljon verta. Kun urheilija liikkuu huipputehoilla saadaan vielä paljon tehokkaampi alaraajojen verenkierto ja hapenkulutus voi nousta viisikymmenkertaiseksi lepotasoon nähden.
- Liikunnan hyötyihin kuuluu siis verenkierron vilkastuminen, hapenkulutuksen voimistuminen, glukoosin ja rasvahappojen voimakas kulutus.
- Lisäksi lihassoluissa lisääntyy mitokondrioiden määrä sekä sitruunahappokiertoon osallistuvien entsyymien määrä.

- Kuntoilu lisää maksasolujen herkkyyttä glukagonin vaikutukselle minkä seurauksena maksan glukoosin tuotanto vilkastuu.
- Mitokondrioiden lisääntyminen, hapenkulutus, rasvahappojen poltto, glukoosin hyväksikäyttö on osittain perinnöllistä, eli tavallisen tallustelijan ja huippulahjakkaan Jukka Keskisalon välillä on eroja.
- Maitohappoa (laktaattia) muodostuu jatkuvasti kudoksissa kuten lihaksissa, iholla ja punasoluissa.
- Aivot kykenevät käyttämään laktaattia energianlähteenä ja maksa valmistaa laktaatista glukoosia.
- Lepotilassa tai lievässä rasituksessa ei valtimoveressä ole paljoa laktaattia.
- Kun yli tunnin rasituksen jälkeen syö hiilihydraattipitoisen aterian lisääntyy maksan verenkierto 50 % ja glykogeenin valmistus voi alkaa todenteolla maksassa ja lihaksissa.
- Lihaksen glykogeenivarastot täyttyvät kahdessa vaiheessa.
- Ensimmäinen vaihe (anabolinen ikkuna), joka kestää noin tunnin, on insuliinista riippumaton. Glykogeenia kertyy tällöin lihaksiin nopeudella 12-30 mmol/l tunti.
- Seuraavan vuorokauden aikana siirtyy lihakseen glukoosia glykogeeniksi insuliinin vaikutuksesta nopeudella 3 mmol/l tunnissa.

Lihaksen väsyminen rasituksessa

- Lihaksen väsymistä tutkitaan urheilulääketieteessä hyvin vilkkaasti.
- Pitkään jatkunut lihaksen rasitus aiheuttaa sen väsymisen ja siinä ei ole mitään kummallista. Lihaksen pitääkin väsyä.

- Ja sitten levon kautta taas palautua.
- Jos lihaksen voima normaalilla tavalla palautuu levossa minuuteissa tai tunneissa, on kyseessä lihaksessa tapahtuva normaali väsyminen.
- Mikäli lihasvoiman palautuminen on hidasta ja vaillinaista ja siihen liittyy muutoksia lihaksen rakenteessa, on kyseessä lihasvaurio tai elimistön sairaus.
- Lihassolujen väsymisen oletetaan johtuvan lihassolun sisällä ja ulkopuolella olevien aineenvaihduntatuotteiden (metaboliittien) muutoksista (joko kerääntymistä tai vähentymistä).
- Lihassolujen välitilaan (interstitium) kertyy rasituksessa lihassolujen sisältä kaliumia ja tämän oletetaan olevan tärkeä syy lihassolujen voiman ehtymiselle.
- Kalium pistää mm. aktiini- ja myosiinifilamentit liikkumaan.
- Rasituksen aikana lihaskudoksen glykogeenivarastot vähenevät ja tämä altistaa voimakkaalle väsymiselle ellei energiaa saada muilla mekanismeilla kuten rasvahappoja polttamalla tai glukoosin uudismuodostuksella maksassa.

Rasitukseen liittyvä lihaksen vaurio

- Kovan rasituksen jälkeen voi lihaskipu alkaa vasta seuraavana päivänä, jolloin siitä käytetään englanninkielistä termiä "delayed-onset muscle soreness (DOMS)".
- Tällöin lihassoluista vapautuu ("valuu ulos") valkuaisaineita, entsyymejä kuten esim. kreatiinikinaasia ja verenkierrosta hakeutuu vaurioituneeseen lihaskudokseen immuunijärjestelmään kuuluvia valkosoluja.
- Lihaksen vaurio korjaantuu viikkojen kuluessa.

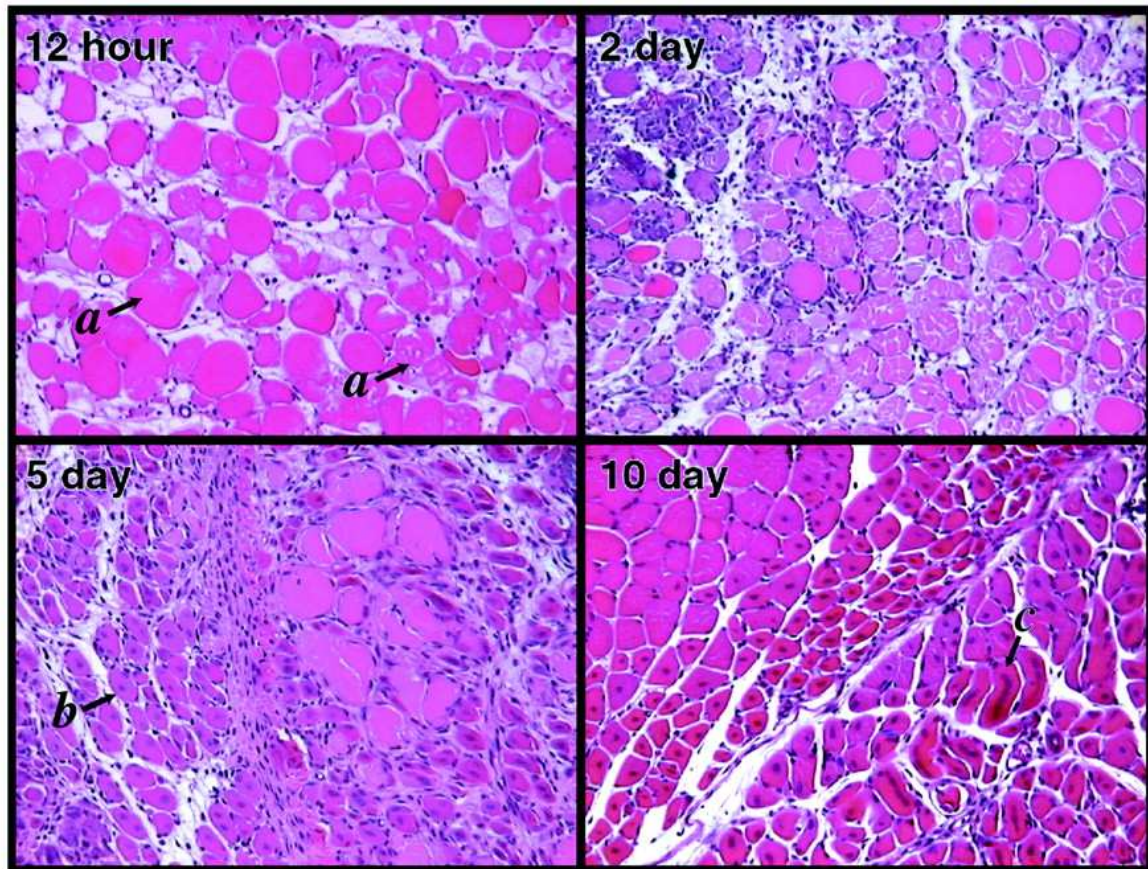
- Lihaksen erityiset satelliittisolut osallistuvat vaurioituneiden lihassolujen korjaamiseen.
- Satelliittisolu on poikkijuovaisessa lihaksessa esiintyvä pienikokoinen, erilaistumaton, yksitumainen lihassolu, joka pystyy korjaamaan vaurioita jakautumalla uusiksi täysimittaisiksi lihassoluiksi.
- Satelliittisolujen määrä lihaskudoksessa on 2-15 % kokosolumäärästä.

- Maratonjuoksun (42 km) jälkeen on lihaksesta otetussa koepalassa todettu:
 - Lihassolujen nekroosia ja tulehdusta
 - Tulehdussolujen kertymistä lihaskudokseen
 - Lihassolujen solukalvon (sarkolemma) vaurioita

- Lihaskudoksen muutokset säilyvät noin viikon verran maratonjuoksun jälkeen.
- Lihasten täydellinen korjaantuminen voi kuitenkin kestää 1-3 kuukautta suorituksen jälkeen.
- Paljon juoksevilla on lihaksissa solujen välissä kollageenin määrä usein lisääntynyt mikä viittaisi uusiutuvien (hallittujen) soluvaurioiden seurauksena syntyneeseen sidekudosreaktioon.

Lihasvaurion korjaantuminen

A



- 12 tuntia vauriosta lihassoluissa on kuduskuoliota (nekroosia) ja turvotusta (kuva vasemmalla ylhäällä).
- Kahden vuorokauden kuluttua lihaskudoksessa on jakautuvia satelliittisoluja ja tulehdussoluja (kuva oikealla ylhäällä).
- Viiden vuorokauden kuluttua lihaskudoksessa on pieniä satelliittisoluista muodostuneita lihassoluja.
- Useat satelliittisolut yhtyvät isoksi lihassoluksi ja lihaksen rakenne on korjaantunut 10 päivässä (kuva oikealla alhaalla).

Liikunta ja hormonituotanto

- Liikunta ja lihasten hypertrofia (liikakasvu, ”bodaus”) on hallittavissa oleva ominaisuus.
- Lihaksen voimaharjoittelu aiheuttaa sen paksuuntumisen, minkä suurin syy on lihassyyn eli lihassolun koon kasvaminen.
- Lisäksi tapahtuu lihassolun sisällä muutoksia lihaksen supistumiseen osallistuvien valkuaisaineiden määrässä sekä lihaksen aineenvaihduntaan osallistuvien metaboliittien määrässä.
- Lihassyyn paksuuntumiseen liittyy myös satelliittisolujen jakaantuminen.

- On erityisiä hormoneja, jotka lisäävät lihaskasvua: kasvuhormoni, testosteroni ja osittain myös insuliini.
- Dopingaineiksi luokiteltavat anaboliset steroidit kiihdyttävät voimakkaasti lihaskasvua.

Lihaskunto ja ikä

- Lihaskudoksen määrä vähenee korkealla iällä (=sarkopenia).
- Reisilihaksen voiman heikkeneminen altistaa vanhuksen kaatumiselle ja murtumille.
- Sairastuneella ja liikkumattomalla voi lihaskunto heikentyä jo nuorempaanakin.
- Eräessä tutkimuksessa todettiin, että yli 74-vuotiaista miehistä vain kolmasosa jaksaa nostaa yli 4.5 kg:n painon ylös pöydältä tai lattialta.
- Vastaavanikäisistä naisista kaksi kolmasosaa ei jaksaa nostaa 4.5 kg:n painoa.

- Tilanne ei kuitenkaan ole menetetty, sillä kolmen kuukauden alaraajaharjoittelu 60-72 -vuotiailla miehillä kasvatti reisilihaksissa tyyppi I:n lihassyiden pinta-alaa 34 % ja tyyppi II:n lihassolujen pinta-alaa 28 %
- Reiden lihasten tietokonetomografiatutkimuksessa reisilihasten paksuus lisääntyi 11 %
- Lihas kasvaa siis vanhanakin, jos sitä harjoittaa.
- Yli 65-vuotiaiden lihasvoima on noin puolet nuorten aikuisten vastaavasta.
- Kolmen kuukauden kuntopyöräharjoittelulla saatiin 60-80-vuotiaiden alaraajan maksimaalista verenvirtausta parannettua jopa 50 prosenttia.

Liikunta sairauksien hoidossa

Aikuistyyppin diabetes

- Aikuistyyppin diabeteksessa (tyyppi 2) on häiriö sekä insuliinin vaikutuksessa kudostasolla (insuliiniresistenssi) että häiriö insuliinin tuotannossa haimasoluissa.
- Insuliinin heikentyneitä vaikutusta lihaksiin pidetään keskeisenä syynä veren glukoosin nousuun aikuistyyppin diabeteksessa.
- Rasvakudoksen ohella lihaskudos on tärkein insuliinin vaikutuskohde.
- Insuliiniresistenssi, joka liittyy keskivartalolihavuuteen ja metaboliseen oireyhtymään, on keskeinen syy glukoosinsiedon (glukoositoleranssi) heikentymiselle sekä aikuistyyppin diabeteksen puhkeamiselle.
- Glykokeenin muodostus ja glukoosin oksidaatio lihassoluissa vähenevät.
- Lihassoluihin kertyy sen sijaan runsaasti solunsisäistä rasvaa, jonka määrä on suhteessa insuliiniresistenssin vakavuuteen.

- Oksidatiivinen fosforylaatio, jonka kautta lihas saa energiaa (ATP:tä) tapahtuu lihassolujen mitokondrioissa ja tämä oksidaatio on vähentynyt aikuistyyppin diabeteksessa.
- Fyysinen ja säännöllinen harjoitus lisää kudoksen rasvan hapetusta (oksidaatio).
- Myös lihaskudoksen herkkyys insuliinille tulee paremmaksi.
- Insuliinista riippumaton glukoosin siirtyminen verestä lihassoluun tulee liikunnan ansiosta paremmaksi.
- Nämä asiat yhdessä parantavat puhkeamaisillaan olevan tyyppin 2 diabeteksen ja saattavat ratkaisevasti vaikuttaa diabeteksen pysymiseen aisoissa koko loppuelämän.
- Tästä syystä liikunta on diabeetikon paras lääke!
- Glukoosia hapettuu 16-32 % enemmän terveillä, liikuntaa harrastavilla henkilöillä kuin terveillä paikoillaan oloa harrastavilla henkilöillä.
- Fyysisen harjoittelun ansiosta kykenivät tyyppin 2 diabetespotilaat ottamaan verestä alaraajan lihaksiin glukoosia jopa 56 % enemmän levossa olleisiin verrattuna.
- Tämä on riittävä määrä kompensoimaan insuliiniresistenssin aiheuttamia ongelmia verensokerille.
- Diabetespotilaan harjoitettu lihassolu kykenee ottamaan glukoosia enemmän sisäänsä koska:
 - Siinä on enemmän glukoosin kuljetusmolekyylä (GLUT-4)
 - Lihaksessa hiussuonten määrä on lisääntynyt
 - Lihaksessa on tyyppi I:n lihassolujen määrä lisääntynyt

- Insuliini auttaa toki glukoosia siirtymään solukalvon läpi:
 1. Insuliini sitoutuu reseptoriinsa solukalvolla
 2. Insuliinireseptorin (IRS-1) tyrosiinin fosforylaatio johtaa signaalin siirtymiseen fosfatidylinositoli (PI) 3-kinaasiin
 3. Lopputuloksena lisääntyy GLUT-4:n määrä solukalvolla

Lihavuus

- Ylipainoisilla liikunnan harrastaminen ennen ateriointia hapettaa ("polttaa") tehokkaammin rasvoja kuin aterian jälkeen suoritettu liikunta.
- Ohjeeksi voidaan antaa ylipainoiselle liikkua alkuillasta ja pärjätä sitten laadukkailla ja kevyillä väli- ja iltapaloilla koko loppuillan. Kysyy luonnetta!
- Pulskan ruokailtua tapahtuu hyvin voimakas aterian jälkeinen insuliinin erityis, joka suuren keskivartalorasvamäärän takia kiihtyy ja estää rasvakudoksen hajoamista.
- Lihavan rasvat rakastavat isäntäänsä!
- Vähäkalorisen ruokavalion aikana rasvan oksidaatio pyrkii vähenemään. Elimistö pelästyy energian vähyyttä ja jättäytyy "säästöliekille"!
- Pelastus löytyy liikunnasta.
- Kuntoliikunnan avulla rasvakudoksen oksidaatio nousee merkittävästi.
- Kun laihtuminen tapahtuu hallitusti liikunnan ja vähäkalorisen ruokavalion avulla (1-2 kg / viikko) elimistö sopeutuu suurempaan energiankulutukseen ja laihtuminen jatkuu normaalipainon saavuttamiseen saakka.