

Loomade liikumine

Urmas Tartes

NB! Tegemist on lõplikult toimetamata ja lõpuni viimistlemata materjaliga. Autor jätab endale õiguse rääkida loengus ka asjadest, mida käesolev konsept ei sisalda.

1. Lokomotsioon (SÜN. KULGEMINE)

Definitsioonid: vagiilsete (*vagiilne - vabalt ringiliikuv või ujuv*) loomade kohavahetusliikumine. Ökoloogialeksikon, 1992.

Liikumine (filos.) - **Materia olemise viis: igasugune muutumine protsess, vastastikune toime, ühest olekust või seosest teise siirdumine.** EE 5. kd.

Loomade liikumine keskkonnas. EE 5. kd (kulgemine)

Minu kommentaar: Liikumine on suhteline. Organism võib liikuda ruumis (keskkonnas) ja organism võib liigutada keskkonda enda suhtes (käs n on liikumatu substraadi suhtes, vesi tema suhtes liigub ning käs n liigutab vett ka ise aktiivselt) Seega loomariigis liikumatuid loomi pole!.

2. Milleks on liikumine vajalik?

Toidu otsimine (loomad on heterotroofid), sookaaslase (paljunemiskaaslase) leidmine, elukeskkonna (elukoha) vahetamine otsimine või tegemine, varjumine (vaenlaste eest pagemine), orienteerumine jms.

Üldistatult võiks ju ka nii: **Liikumine on looma ja (tema mingeid vajadusi rahuldava) keskkonnaobjekti(de) omavahelise ruumilise vahemaa muutumine.**

Võtame näiteks jalaluumurruga voodihaige. Tema liikumisvabadus on piiratud, kuid kui hooldaja talle süüa toob, siis ta liigub toidu suhtes!

3. Mis tagab liikumise?

Kõik aktiivsed liikumistüübid, sõltumata sellest, kas neid tagatakse protsessidega ainuraksete organismide tsütoplasmas (amööbid), spetsiaalsete rakuorganellide liikumisega (viburid, ripsmed) või eriliste kudede (lihaskude), on seotud tsütoplasma mikrofilamentidega. Nende diameeter on 5-20 nanomeetrit. Sõltuvalt nende paigutusest ja koostööst toimuvadki kõik aktiivsed liikumistüübid. *Mõnes käsiraamatus eristatakse mikrotuubulite baasil toimuvat liikumist (viburid ja ripsmed) ja mikrofilamentide baasil toimuvast liikumisest (amööbid ja muskulaarne) Ainuke sisuline, kuid siiski oluline vahe on selles, et mikrotuubulid saavad nii kontrakteeruda kui ka sirutada. Mikrofilamentid saavad üksnes kontrakteeruda. Ka rakud liiguvad näiteks jagunemisel.*

1) **Amööbidne liikumine.** On oma nime saanud amööbi liikumise järgi. Samuti liiguvad ka limaseened ja valged vererakud. Baseerub mikrofilamentidel.

2) **Ripsmeline liikumine.** Mikrotuubulitel. Iseloomulik esindaja on kingloom (*Ciliata*).

Ripsmed ja viburid on analoogse struktuuriga ja nende täpne eristamine on raske. Erinevusi: **a)** Viburite töö baseerub sümmeetrilisel unduleerval liikumisel. Laine liigub piki viburi telge. Ripsmed "löövad" asümmeetriliselt - kiirelt ühes suunas, millele järgneb aeglane tagasipöördumine algseisu; **b)** Vibur liigutab vett piki viburi telge, ripsmed on paralleelselt pinnaga, millel nad asuvad (nagu ka propeller); **c)** ühel rakul on tavaliselt üks kuni mitu viburit, ripsmeid võib ühel rakul olla tuhandeid.

Küll erinevad eukarüootide viburitest bakterite viburid - bakterite viburid on ca 10x peenemad, lühikesed ja jäigad. Ripsmete tööpõhimõtte ei ole veel lõpuni lahendatud.

Ripsmeid esineb siiski praktiliselt kõikidel loomadel. (Kombitspärgete ripsmelised lõpused, ripsepiteel (hingetoru ja munajuha inimesel jms., spermatooidid). Arvati, et putukatel ei ole ripsmeid, sest klassikalisi funktsionaalseid ripsmeid neil tõesti pole. Siiski on tõenäoline, et on alust arvata, et paljud mee-

leelundid putukatel (ja ka teistel loomadel) kasutavad ripsmetest arenenud struktuure.

(Amöboidne ja) ripsmeline liikumine saab toimuda ainult veekeskkonnas (ka lima). Liikumisviiside kasutatavus sõltub looma suurusest.

3) **Muskulaarne liikumine.** Lihaskiud on spetsialiseerunud aktiivsele lühenemisele. Pikenemine toimub passiivselt.

Vöotlihased (Skeletal muscle (striated))

Toonilised (Tonic). Kontrakteeruvad väga aeglaselt ja vajavad mitmekordset stimulatsiooni kontrakteerumiseks.. On tavaliselt kasutuses püsiva kehaasendi hoidmiseks. sisaldavad rohkesti müoglobiini. Kontrakteeruvad põhimõttel kõik või mitte midagi.

Faasilised (Phasic) Selgroogsetel veel kiired ja aeglased lihased. Sõltub harjutamisest ja närvidest. Sisaldavad vähem müoglobiini. Kontraktsioon sõltub stimulatsiooni summatsioonist.

Aeglased (Slow (slow contracting, slow fatiguing)). On värvuselt punasemad. Kiired, kui toonilised lihased.

Kiired (Fast: glycolytic (fast contracting, fast fatiguing); oxidative (fast contracting, fatigue resistant)) On värvuselt valged.

Tooniliste ja faasiliste lihaskiudude vahel on palju erinevusi innervatsioonis, sarkoleemi elektrilistes omadustes, ensümaatilistes omadustes, ainevahetuses ja verevarustuses. Ühes lihases võivad olla kas üks või teine või ka mõlemad. Sõltub pisut ka pärilikkusest, kuid pigem saab ka harjutada. Vastsündinu lihased tunduvad kõik olevat võrdselt aeglased. Edasi harjutab. Loomadel on tehtud katseid, kus närvikiud on siirdatud faasilise lihase küljest toonilise külge, mille tulemusena tooniline lihaskiud saavutas peaaegu faasilise lihaskiu omadused, kuid mitte lõpuni. Eks sellepärast peavadki sportlased pidevalt harjutama!! Kontraktsiooni kiiruse erinevus on umbes 2 korda. Nii et väljend "pikad juhtmed" ei ole alati paikapidav!

Asünkroonsed putukate lennulihased. (Asynchronous insect flight muscle)

Putukate lennulihased. Kiilid, liblikad, rohutirtsud jt. putukate lendamisel on tiivalöökide sagedus suhteliselt madal. Vastavalt igale närviimpulsile toimub üks lihaste kontraktsioon. Selliseid lihaseid nimetatakse seetõttu **sünkroonseteks lihasteks**. Nelja seltsi putukatel, (väiksematel putukatel) nagu mesilased ja herilased (*Hymenoptera*), kärbsed ja sääsed (*Diptera*), mardikad (*Coleoptera*), luti- kad (*Hemiptera*) on tiibade löögisagedus väga kõrge (100-üle 1000 löögi sekun- dis). Närviülekanne ei saa põhimõtteliselt sellise kiirusega toimuda. Seetõttu on probleem lahendatud selliselt, et ühe närviimpulsi mõjus toimub mitu kontrakt- siooni (kuni 40) - **asünkroonsed lihased**, kuna nende müofibrillid erinevad ta- valistest lihastest, siis nimetatakse neid ka **fibrillaarseteks lihasteks**. Samuti kasutatakse olulisel määral skeleti elastsete elementide osa. Pideval lennul on ikkagi pidevalt vaja närviimpulsse. Kõige suurema tiivalöökide sagedusega pu- tukas maailmas on kihulane *Forcipomyia*, kes liigutab tiibu 62 760 korda minutis. Eksperimentaalselt on 37 °C juures kärbitud tiibadega isendil mõõdetud tiivalöö- kide sageduseks 133 080 lööki minutis. Siit on lihtne arvutada, et ühe lihase tööttsükli sooritamiseks (kontraktsioon ja lõtvumine) kulub aega 1/2218 s. See on absoluutselt kõige kiirem eales mõõdetud lihaskontraktsioon eluslooduses. Küll Carl Lewis võiks seda kiini kadestada! Võrdluseks Kõige laisemalt lehvitab tiibu pääsusaba. Tema tiivalöökide sagedus on "ainult" 300 lööki minutis. Lennu maksimaalseks kiiruseks on putukatel tavaliselt 39 km/h. Mõnedel suurtel kiilidel on lühiajaliselt mõõdetud lennukiiruseks kuni 58 km/h.

Südamelihased. Cardiac muscle (striated) Genereerivad ise närviimpulsse.

Smooth muscle. silelihaskude.

Vertebrate

Unitary (visceral) Lihaskud on asetunud lehtedena, kusjuures üks när- vikiud on ühendatud paljude rakkudega. Kõik rakud kontrakteeruvad sa- maaegselt. Reageerivad samuti hormoonidele, füüsilisele pingele ja tem- peratuurile. Vistseraalsed lihased on sellised.

Multiunit (ciliary body, iris, pilomotor) Silmas. Rakud on asetunud dis-

kreetsete kiududena ja iga lihasrakk on innerveeritud ühe närvilõpmega ja kontrakteerub sõltumatult teistest. Need rakud reageerivad praktiliselt ainult närviimpulssidele.

Invertebrate

Classical smooth muscle. Oli eelnevalt juttu. Nagu selgroogsetel unitary. Helical Rõngusside ja peajalgsete liikumislühastes on müofibrilid asetatud spiraalselt (heeliksikujuliselt).

Oblique Mõnedel teistel molluskitel ja näiteks okasnahksetel ja tunikaatidel on samuti heeliksikujulised silelihased, kuid on nagu topelt heeliksis (kuidagi viltu asetunud).

Karpide sulgur(luku)lihas. (Paramyosin catch muscle) Omab ebatavaliselt tugevat jõudu (umbes 3 korda tugevam, kui tavaline vöötlihas). Seostatakse erilise valguga - paramüosiini olemasoluga. Siiski esineb paramüosiini ka teistes selgrootute vöötlihastes (lüljalgsed), ussides jt. Eriline on siis see, et maksimaalse jõu alalhoidmine (karbi kinni hoidmine) vajab suhteliselt väga vähe energiat. Näiteks suudab austri sulgurlihas säilitada jõudu 0.56 kg cm^{-2} 20-30 päeva jooksul.

Muskulaarse kontraktsiooni mehhanism on põhimõtteliselt sama kõikides lihastes. Kaks valku - **aktiin** ja **müosiin** ja **ATP** energiaallikana Libisevate filamentide mudel.

Jõud, mida lihas suudab tekitada sõltub ainult ristlõike pindalast, mitte pikkusest. Kas sipelga lihased on tugevamad kui elevandil? Ei ole. Keha välispind väheneb kolmandas mõõtmes, pindala teises mõõtmes. Seega väikesel loomal mahub suhteliselt rohkem lihaseid sisse.

4) **Vähilaadsete musklid (krabide sõrad) Miks nad on nii tugevad?** See tuleneb lihaste erilisest asetusest sõras, mis tagab suure ristlõikepindala. Võrreldes käävikujulise lihasega (tavaline asetusega) on sulgja asetusega saavutatav 4.2x suurem jõud, kuid nihke ulatuse arvelt.

4. **Skeletid.** Selleks, et musklid saaksid oma jõudu rakendada ehk midagi teha, peavad

nad olema kinnitunud mingisuguse mehhaanilise struktuuri külge. Sobilik struktuur loomades on skelett. Tavaliselt koosneb see jäikadest ühenduses olevatest struktuuridest, kuigi ka vedelikke saab hästi kasutada jõu ülekandmiseks. Põhilised skeletitüübid on järgmised:

Jäik skelett

Endoskelett: selgroogsed

Eksoskelett: putukad, vähilaadsed

Hüdrauliline skelett

Vedelik+pehmed seinad: ussid (vihmauss), kaheksajalg, meritäht

Vedelik+jäigad elemendid: ämblike jalad

Ämblikud ei saa sirutada oma jalgu musklite abil, sest sirutavad lihased nendel puuduvad. Kuidas nad siis sirutavad? Põhimõtteliselt on kaks moodust : elastsusjõud (nagu karpide poolmed), ja hüdraulika. Ämblikel elastsusjõud ei tule arvesse, sest liigesed jäävad neutraalsesse asendisse laiade paindenurkade juures. Ämblikud kasutavadki hüdraulilist rõhku. Kõige lihtsam tõestus on, kui jalg eemaldada ja lahtise otsa poolt pintsettidega kokku suruda. Jala sirutuse nurk ja rõhu suurus on omavahel sõltuvuses. Kui näiteks ämblik saab vigastada ja tal on verekaotus, siis ta ei suuda absoluutselt jalgu sirutada ja jalad on kõhu vastu kokku surutud. Ämblike vererõhk ongi üllatavalt kõrge - kuni 400 mm Hg või 0.5 atm. Tavaliselt teistel lülijalgsetel on vererõhk mõned mm Hg (avatud vereringe!). Asi oleks nagu lihtne, kuid näiteks hüpikämblike hüppamise mehhanism pole lõpuni selge. Jalgades vererõhk tõuseb, kuid kehas üldise rõhu tase ei muutu.

5. Liikumiskeskonnad

a. veekeskond

tihedus - 1000 kg/m^3 (on õhust 775x tihedam ja 100x viskoossem)

jää - $880\text{-}920 \text{ kg/m}^3$

b. õhukeskkond

tihedus - 1.293 kg/m^3

- c. pinnas (pehme ja kõva). On tahke aine. Liikumine võimalik ainult pehmes pinnases tänu sellele, et pinnas ei ole homogeenne, vaid struktuurse koostisega ja koosneb paljudest komponentidest. Kõvas pinnases liikumine praktiliselt võimalik pole. Õõnsustes liikumine taandub maapinnal liikumisele ja ronimisele.

savi - 1800-2600 kg/m³

liiv - 1200-2100 kg/m³

puut - mitmesugune, reeglina < vee tihedusest

Piirpinnad

- d. maapind (horisontaalne ja vertikaalne)
e. veepind (vee ja õhu vahel). Pindpinevus.
f. veekogu põhi
g. veekogu alune pinnas

6. Liikumiskeskkondade füüsikaline iseloomustus

Kõiki keskkondi iseloomustavad väga paljud tegurid. Olulisemad liikumisele on neist järgmised.

1) gravitatsioon

Kõikides keskkondades mõjub gravitatsioon e. raskustung. Sellele vastu töötab Archimedese jõud õhus ja veekeskkonnas.

2) organismi ja keskkonna erikaalu (tiheduse) vahekord

Liikumisel on oluline organismi tiheduse ja keskkonna tiheduse vahekord. Elusorganismide tihedus on ca võrdne vee tihedusega. Õhu tihedusest on see palju suurem. Selleks, et organism saaks keskkonnas hõljuda ja passiivselt liikuda, peavad nende tihedused olema võrdsed. Siis tasakaalustab üleslükkejõud gravitatsioonijõu.

3) keskkonna viskoossus

4) kõikides keskkondades toimub selle pidev liikumine. Kõige väiksem on see pinnases. Suurim õhus. Liikumine peab olema tagatud energeetiliselt. Erinevates

keskkondades on liikumisele erinev takistus. Siit organismide morfoloogilised erinevused.

7. Liikumise tüübid erinevates (liikumis)keskkondades.

Liikumisviisid erinevates keskkondades on erakordselt mitmekesised. Siiski on ka süstemaatiliselt kaugete organismide lihastegevuse eripärad tihedalt seotud nende eluviisiga, toiduotsimis-, kaitse-, migratsiooni- ja sigimistegevusega. Nende bioloogiliste stiimulite alusel ongi välja kujunenud mitte ainult liikumise struktuur vaid ka liikumise kindlustamine energeetiliselt, tsirkulatsiooniga, hingamisega jne. Sellepärast haaravad lihastegevuse ja liikumise adaptiivsed muutused enamuse liikidest ja moodustavad morfoloogiliselt (füsioloogiliselt) ühetüübilise eluvorme.

Põhimõtteliselt on olemas kolm tüüpi liikumist - aktiivne (loom liigub lihaste jõul keskkonna suhtes), passiivne (keskkond liigutab looma teise keskkonna suhtes) ja liikumatus (liikumatu on surnud loom). Loomulikult on olemas ka nende vahevormid.

Aktiivne liikumine - loom suudab liikuda keskkonnast sõltumatult.

Aktiivse ja passiivse liikumise vahevorm - loom suudab keskkonna suhtes ka ise veidi liikuda, kuid keskkond kannab looma rohkem (meduusid, tormi puhul ka kalad selles vormis)

Passiivne liikumine - loomal liikumisvõime puudub, ainult keskkond kannab teda teiste keskkondade suhtes

Liikumatus ja aktiivse liikumise vahevorm - loom on liikumatu ühe keskkonna suhtes ja liigub aktiivselt teises keskkonnas. (käsna, hüdrad)

Liikumatus ja passiivse liikumise vahevorm - Loom on liikumatu ühe keskkonna suhtes ja teine keskkond liigub tema suhtes (võrku kuduvate ämblike toiduotsimine)

Erineva otstarbega liikumised võivad samal loomal olla erinevad (ämblike sigimiskäitumine ja toidu hankimine võrkurlastel; käsna toitumine ja sigimine)

Erinevad looma arengustaadiumid võivad kasutada erinevaid liikumistüüpe (käsna vastsed liiguvad aktiivselt, ainuõõssed, putukad, eriti, kui erinevad arengustaadiumid arenevad eri keskkondades). On loomaliike, kellel on võime vahetada liikumiskeskkonda (ujur). Kokkuvõttes on olemas suur hulk eluvorme elukeskkondade

ja liikumistüüpide erinevates kombinatsioonides.

8. Jooksmine.

Tasapinnal mõjuvad kolm takistavat jõudu: **1)** õhu hõõrdumine, **2)** raskuskese tõuseb ja langeb, **3)** jäsemeid painutatakse ja sirutatakse, nende kiirendusega liigutamine. Mäest üles ja alla jooksmine - suurte ja väikeste loomade vahe. Mäest üles joostes lisandub keha potentsiaalse energia suurenemine, mis nõuab täiendavat tööd. Kuna massiühiku kohta tehtav töö mäest üles joostes on sama, siis peaks suurtel ja väikestel loomadest olema suhteliselt sama energiakulu. Ometi väikesel loomal tundub kergem ülesmäge joosta. Miks? 30g hiire põhiainevahetuse tase on 15 korda kõrgem kui 1000 kg kaaluval hobusel. Siit ka on suhteline ainevahetuse taseme tõus hiirel 15x väiksem kui hobusel. Kui liikuda vertikaalselt 2 km/h, siis hiirel suureneb ainevahetuse tase 23% (vaevast märgatav), šimpansil 189% ($m=20$ kg, suureneb kahekordselt) ja hobusel 630% (raske töö). Samas ka allamäge jooksmisel hiire ainevahetuse tase ei erine oluliselt normaalsest tasemest, samal ajal šimpansil ja hobusel see väheneb oluliselt. *Elastsusjõu roll jooksmisel.* Känguru liikumise kiirus, spordiala käimine!!!

Hüppamine. Miks kirp hüppab kõrgele? Elastsusjõud on mängus. Rohutirtsul ei ole. Kui keha mass väheneb 1000 korda, siis lihaste ristlõike pindala väheneb ainult 100 korda.

Mis toimub treeningul inimesega? Üheks põhiliseks treeningueesmärgiks on suurendada lihasteni transporditava hapniku hulka e. maksimaliseerida hapniku omastatavust. Treeningu tagajärjeks on põhiliselt kahe faktori suurenemine: südame töömahu suurenemine. Tippportlastel on südame löögisagedus rahulolekus tavaliselt madalam, kui treenimata inimestel, samal ajal vere pumpamine on intensiivsem. Teiseks faktoriks on see, et treenitud inimeste lihased suudavad verest rohkem hapnikku omastada. Lihaste mitokondrid suurenevad, lihased muutuvad müoglobiinirikkamaks, suureneb verekapillaaride hulk lihastes. Kõik see annab tulemuseks suurema aeroobse töövõime. Vastupidavustöövõimet piirabki eelkõige südame minutimaht, millest vahetult sõltub lihaste hapnikuga varustamine, mitte hingamine. Samuti toimub hormonaalse tasakaalu muutumine hüpotaalamusest, mille mõjuks on valu vähenemine heaolutunde suurendamine. Seetõttu pärast pingutust valdabki inimesi tavaliselt rahulolu.

9. Lendamine.

10. **Ujuvus.** (Teatud lähenduses on ka kehtiv õhus lendavate loomade suhtes)

Vees elavatel loomadel on energia kokkuhoiduks hea omada veega samasugust tihedust. Samal ajal üldiselt loomade keha on raskem, kui vesi (skelett!). Ujuvuse probleem on olulisem suurematele loomadele, sest väikestel organismidel on suhteliselt suur keha pindala ja tihti ka igasuguseid jätkeid, mis aeglustavad uppumist. Suurematel loomadel ja loomadel üldse on keha tiheduse vähendamine ainuke viis ujuvuse parandamiseks. Selleks on viis võimalust:

1) Raskete ainete hulga vähendamine kehas (kaltsiumkarbonaat - karpidel, korallidel, molluskitel; kaltsiumfosfaat - selgroogsetel). Saab vähendada äärmuseni kuni mõnedel pelaagilistel molluskitel koda täiesti puudub. Selge on ka, et ainult väikesed organismid saavad seda kasutada.

2) Raskete ionide asendamine (Mg^{2+} ja SO_4^{2-} asendatakse Na^+ ja Cl^- ga või isegi H^+ ja NH_4^+). Parimad näited on tegelikult taimedest, mõned vetikad. Nõuab suurt kehavedeliku hulka. Seda meetodit kasutab üks kalmaariliik. Kaks kolmandikku kehast on vedelik.

3) Raskete ionide eemaldamine kehast (kehavedelike "lahjendamine"). Selgrootud on tavaliselt isoosmootsed keskkonna suhtes. Siiski luukaladel on kehavedeliku kontsentratsioon madalam, kui (mere)vees. Oluline on see moodus siiski ainult mõnede süvaveevormide jaoks.

4) Suurendada kehas veest kergemate ainete hulka (rasvad ja õlid). Planktilised organismid, kõik varilõpuselised (haid ja raid). *Squalus* on hai liik. maks moodustab c 17% keha massist ja sellest 75% on õli. Imetajate maks sisaldab 5% rasvu). Põhjaeluviisiga raidel on maks väiksem ja selles on vähem rasvu. Mõnedel süvavee luukaladel on ujupõis rasvaga täidetud. Paaril liigil selletõttu ka ujuvus on parem, kuid enamasti on sellises ujupõies kuni pool rasvadest kolesterool, mis on veest raskem. Sellega on ujuvuse parendamise osa kaheldav.

5) Gaasi täis põite kasutamine (kalade ujupõis). On väga efektiivsed, kuid omade puudustega. Kahte tüüpi.

Pehmeseinalised põied. Probleemid sukeldumisel. *Physalia pelagica* - meripõis. Kalade ujuvõied. Luukalad saavad ainult teatud sügavuse piirides liikuda. Gaas on tavaliselt rõhu all. Süvaveekaladel kuni 100 atm. Kuidas sinna gaasi eritatakse?

Jäikade seintega gaasipõied. Mõned molluskid. Kalmaar *Sepia officinalis*. *Nautilus*. Gaas ei ole rõhu all. Saab suhteliselt vabalt liikuda sügaval ja pinnal. Gaasiga täidetakse sellel teel, et osmootsete jõududega eemaldatakse ruumist vedelik. Gaas lihtsalt difundeerub.