

Energia

Urmas Tartes

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

Termin **energia** on äärmiselt levinud ja palju kasutatav mõiste, kuid tegelikult on selle taga palju abstraktseid mõisteid ja arusaamasid. Selleks on hea revideerida oma teadmisi paljude füüsikaliste aspektide kohta (potentsiaalne energia, keemiline energia, kineetiline energia, elektrienergia, mehhaaniline energia, kiirgusenergia). Hea on meelde tuletada termodünaamika seadused, sest kõik loomad peavad nendega arvestama. Samuti on hea meelde tuletada selline mõiste nagu "entroopia". Kõik loomulikud protsessid toimuvad üldjuhul korratuse suurenemise suunas ehk entroopia kasvamise suunas. Nii võib vahel ka elu defineerida, kui protsessi, mis entroopiat vähemalt ajutiselt vähendab. See aga ei toimu iseenesest, vaid nõuab energiat. Seega energeetika loomade juures ei ole midagi muud, kui "elamise hind", mida me järgnevalt vaatamegi.

Ajaloost

1590. a. tegi itaalia meditsiiniprofessor *Sanctorio Sanctorio* lihtsa, kuid väga olulise uuringu. Ta kaalus ennast, sööki ja väljaheiteid ning leidis, et söögi ja joogi mass oli suurem, kui väljaheidete mass, kuid kehakaal jäi püsivaks. Sellele ei osanud ta muidugi mõistlikku seletust anda ja arvas, et tegemist on "tajumatu higistamisega". See väide oli üksnes osaliselt korrektne. Alles mitu sajandit hiljem leiti, et kaalukadu tuleneb ainevahetusest.

Edasi demonstreeriti paljude eksperimentidega (*Boyle, Mayow, Lavoisier* jt.), et loomade ainevahetus on sarnane tavalise põlemisega: mõlemad vajavad sama koostisega õhku ja vabastavad soojust. Need uuringud panidki aluse loomade energeetika uurimisele.

Kuivõrd loomafüsioloogia on eksperimentaalteadus, siis peame kuidagi ka

mõõtma loomade energiatarbimist. Loomade energiatarbimise mõõtmist nimetatakse kalorimeetriaks.

Kalorimeetria

Lavoisier määras loomade ainevahetuse taset (merisead, hiired ja varblased) mõõtes otseselt nende soojusproduksiooni. Sellist tüüpi mõõtmisi nimetatakse ka **otseseks kalorimeetriaks**. *Lavoisier* kasutas kahekordse seinaga jäävanni, millesse pandi vaskanumaga loom. Jää hoidis looma pidevalt 0 °C juures, kusjuures looma poolt produtseeritud soojus sulatas jääd. Mõõtes sulanud jää hulga, on võimalik arvutada. Otsesest kalorimeetriat kasutatakse ka tänapäeval, kuigi katseseadmed on tavaliselt tunduvalt keerukamad ja kallimad.

Kaudne kalorimeetria

Põhimõtteliselt on olemas ka teisi meetodeid loomade ainevahetuse taseme määramiseks. Kuivõrd loomad saavad energiat orgaaniliste ainete oksüdeerimisel, siis mõõtes kas hapnikutarbimise taseme või süsihappegaasi produktsiooni saame samuti hinnata ainevahetuse taset. Kuivõrd siin me enam ei mõõda soojusproduksiooni, siis on tegemist **kaudse kalorimeetriaga**.

Ka metaboolne vesi võiks teoreetiliselt olla sama hea ainevahetuse taseme hindamise indikaator. Siiski on vee tekkimist väga raske mõõta, kuivõrd erituv (tekkiv) veekogus on väga väike võrreldes looma kehas oleva veehulgaga. Kasutades isotoopmeetodeid, on siiski ka vee baasil võimalik mõõtmisi teha.

Viimane võimalus kaudseks kalorimeetriaks tuleneb energia jäävuse seadusest. See on peaaegu nagu *Sanctorio* poolt kasutatud, ainult tänapäevasem. Kui me eeldame, et loom on paigal, ei urineeri, ei kasva, siis mõõtes ära toidu energiasisalduse ja ekskrementide energiasisalduse, saamegi nende vahena ainevahetulele kulunud energia.

$$E_{\text{metabolism}} = E_{\text{toit}} - E_{\text{ekskrementid}}$$

Tegelikkuses muidugi asi nii lihtne ei ole, sest peame arvestama sellise asjaga, milleks on

Energiabilanss.

Ainevahetuse tase on kujunenud selliseks mõõdupuuks, millega kirjeldatakse seda energiatarviduse määra, mis on vajalik selleks, et tagada vajalikud eluprotsessid, nagu hingamine, vereringe, lihastoonus, kasv, sigimine, laktatsioon imetajatel, aktiivsus jt. Seega vaadeldakse looma nagu avatud süsteemi, milles aine muutub tööks ja soojuseks. Seda süsteemi saab aga kirjeldada palju täpsemalt, koostades looma energiabilansi. Energiabilanss sisaldab kõiki energialiike, mida loom saab, kaotab või akumulereib. Energiat saadakse põhiliselt toiduga ja jookidega (inglise keeles *consumption*) ja see on tähistatud tähega C. Üksnes väike osa sellest assimileeritakse (A). Seedimata energia eritatakse ekskrementidega (*faeces* F) ja uriiniga (U). Paljudel loomadel (linndudel ja putukatel on F ja U üks). Osa energiast kasutatakse kasvuks ja seda nimetame ka looma suhtes produktsiooniks (P). Metaboolsetes protsessides eraldub alati energiat soojuskiirgusena (R vahel nimetatakse seda ka metaboolseks energiakaoks M). Nii saane kirjutada lihtsa valemi, väljendamaks energiabilanssi:

$$C=P+R+U+F$$

See kehtib liikumatu looma kohta. Kui loom on aktiivne, liigub, siis lisandub veel üks muutuja - töö (W) ja valem näeb välja sellisena:

$$C=P+R+U+F+W$$

Nüüd polegi midagi lihtsamat, kui mõõta need üksikud komponendid loomadel ära ja saame koostada iga looma jaoks konkreetse energiabilansi. Siin on näiteks ahvena energiabilanss. Kui kõik numbrid valemisse kirjutada: $P(11,9)+R(32,0)+U(9,6)+F(6,4)=C(59,9)$. Mõõtmistes oli $C=58,9$. Seega tekib näites energiadefitsiit ja bilanss ei ole tasakaalus. Sellel on loomulikult kaks põhjust. Kõigepealt on alati kõikides mõõtmistes oma viga. Samuti võib looma energiabilanss olla ka negatiivne ehk loom võib ajutiselt kulutada rohkem, kui ta toiduga saab. See tähendab, et P muutub sellisel juhul negatiivseks. Kui $P=0$, siis on loom tasakaalus ja kogu tarbitav energia läheb üksnes elutegevuse tagamiseks.

Võtame teise näite loomast, kes ökosüsteemides kannab märksa olulisemat rolli, kui ahven. Selleks on hulkharijasuss *Neanthes*. See loom toitub väikestest vähilaadsetest ja toiduga saadav energia mõõdeti ära söödud loomade hulga järgi. Produktsioon ja ekskrementides sisalduv energia mõõdeti kalorimeetrilise pommiga. Uriini energiasisaldus hinnati selles sisalduva ammooniumisisalduse alusel. Metaboolne energia ehk hajunud energiahulk hinnati hapnikutarviduse alusel arvestades RQ-ga¹ ja energiaekvivalendiga hapniku jaoks. Nii saadigi ühe looma jaoks energiabilanss.

Selliste uuringute tulemusena saame analüüsida looma energiabilanssi detailsemalt (Tabelit näidatakse kilelt).

Vahe energia omastamise ja fekaalse energiakao vahel on näivalt omastatud energia. $A=C-F$. Näiliselt assimileeritud energia protsentuaalne suhe on ka toidu seeduvuse indeks või assimilatsiooni efektiivsus. st. $100A/C=100(C-F)/C$. Tegelik assimilatsioonenergia on energia, mis absorbeeriti seedesüsteemis. See võib erineda $C-F$, kui ekskrementidesse lisandub aineid soolestikust.

Teatav osa assimileeritud energiast eritatakse hiljem ka uriini kaudu, eelkõige lämmastikuainevahetuse jääkproduktidena. Lahutades ka selle, saame metaboolselt kasutatava energia ($M=C-F-U$).

Teatav osa metaboolselt kasutatavast energiast kulub ära söömisel ja seedeprotsessis ning kaob soojusena. Seda nimetatakse spetsiifiliseks dünaamiliseks efektiks (SDE). Ka see tuleb tegelikult saadud energiast maha lahutada, sest läheb nõ. kaotsi. Samuti peame nende loomade puhul, kellel oluline energia tuleb sümbiontsete organismide fermentatiivsetest protsessidest (mäletsejad jt.) maha arvama sellele kuluva energia.

Alles nüüd saame kätte puhtalt looma kasutada jääva energia (*net energy*). On loomulikult äärmiselt oluline, et kõiki neid suurusi mõõdetakse võrreldavates tingimustes ja soovitatavalt samaaegselt.

Kui neid väärtusi määrata absoluutsetes suurustes, tekib meil võimalus esitada väärtusi ja suhteid protsentidena ja ühtlasi ka võrrelda erinevaid loomi. Näiteks on näiva assimilatsiooni efektiivsus näitaja, kui mitu protsenti söödud energiast kasutatakse produktsiooniks, ainevahetuseks ja uriini tootmiseks. See väärtus on määratud eelkõige toidu keemilise koostisega ja seedeprotsessi füsioloogiaga. Väärtused $100A/C$ on suhteliselt madalad herbivooridele (40-60%), kuna nende toit sisaldab raskesti

¹ RQ - hingamiskoeffitsient

seeditavat tselluloosi. Karnivooridel on see protsent suurem. Putukatoidulistel on see protsent samuti kõrge eriti kui nad ei neela putukate kitiinkestasid, mis on praktiliselt seedumatud. Loomad, kes on spetsialiseerunud selliste vedelike, nagu nektar, floemi või ksüleemivedelikud, või veri või piim, on äärmiselt kõrge assimilatsioonikoefitsient.

Assimileeritud energia jaotub omakorda paljude komponentide vahel: produktsioon, uriini formeerumine ja metabolism. Produktsiooni suhe (P/A) assimilatsiooni on loomadel vähem varieeruv, kui A/C , sest seda määravad peamiselt makromolekulide sünteesi biokeemilised protsessid, mis on loomades väga sarnased. Siiski on see näitaja väga varieeruv erinevate suuremate taksonite vahel. Näiteks endotermilistel imetajatel ja lindudel on P/A suhe väiksem, kui ektotermilistel loomadel, kuna kõrgem ainevahetuse tase kasutab ära suurema hulga assimileeritud energiast jättes vastavalt väiksema osa produktsioonile P .

Näiteks on koostatud niitudel elava spittlebug (käosülglane) energiabilanss. Vastsetel ja valmikutel, kes imevad taimemahlu, on tarbimine ligikaudu võrdne (16-20 J/päevas), kuid vastsetel on madalam näiva assimilatsiooni efektiivsus. Samas on kiiresti kasvavatel vastsetel produktsiooni osatähtsus 3 J/päevas, mis valmikutel on tähtsusetu. Nii saamegi, et omades suuremat assimilatsiooniefektiivsust ei tähenda see veel, et tarbitav energia läheb produktsiooniks. Sigimisperioodil kulub valmikutel teatav osa sigimisvahendite produktsiooniks nagu vastavad koed, sekreedid ja sugurakud, peamiselt munad. Isaste putukate poolt spermatoosoidide tootmiseks investeeritud energia on tühine. Üksnes mõnede liikide isased toodavad näiteks söödava spermatofoori (ritsikad), mis tähendab ka isastele sigimiskulusid.

See on üsna lähedane majandusteaduprobleemidele. See on umbes sama et kas välisinvesteeringud lähevad luksusautodeks ja šampuseks või tootmisvahenditeks. Üks on arenev organism ja teine paigalseisev organism. Aeg-ajalt kulutatakse vahendeid ka valmisteks, et süsteemi taastoota.

Energiabilansi koostamine populatsioonidele

Energiabilanssi saab koostada loomulikult ka loomapopulatsioonide kohta jne. Eeltoodud näites hulkharjasusside kohta esitatud üksikute indiviidide alusel saame koostada ka terve ussipopulatsiooni energiabilansi. Selline populatsioon tarbib aastas energiat 314 kJ ruutmeetri kohta. Enamus energiast kasutatakse ära produktsioonil (189 kJ ruutmeetri kohta s.o. 60%), väiksem osa metabolismiks (70kJ e. 22%) ja ülejäänud jääb väljaheidetesse (47kJ e. 15% ekskrementidesse ja 8kJ e. 3% uriini).

Energiabilanss ökosüsteemides

Edasi on mõistagi võimalik laiendada energiabilansi koostamist populatsioonidelt tervetele ökosüsteemidele. Klassikaline lähenemine ökosüsteemide energiabilansi analüüsiks on selle jaotamine troofiliste tasandite vahel, kus iga organism asub oma kohas toiduahelas. Esimese troofilise taseme moodustavad taimed, teise herbivoorid, kolmanda herbivooridest toituvad karnivoorid jne. Mida kõrgemale troofilisele tasemele jõuame, seda väiksemaks vastava taseme organismide arvukus ja produktiivsus muutub. See lihtne lähenemine annab meile troofilise püramiidi.

On võimalik ka ökoloogilise energeetika keerulisem analüüs iga troofilise taseme kohta arvestades vastava taseme energiatarbimist, assimilatsiooni, metabolismi, produktsiooni ja ekskretsiooni. Igal troofilisel tasemel on oma energiatarbimine ja energiakadu kas väljaheidetega loomadel või radiatsiooniga taimedel, mille vahe määrab ära assimileeritava energiahulga. Assimileeritud energia jaotub omakorda metabolismi, uriini, ekskrementaarse energiakao ja produktsiooni vahel. Osa produktsioonist satub alati detritofaagid (saprofaagid) ja ülejäänud saab toiduks kõrgemale troofilisele tasemele. Tuleb ära märkida saprofaagide erakordselt suurt rolli ökosüsteemides. Need on vihmaussid, lestad, hooghännalised, seemed, bakterid), kes tarbivad surnud taimset ja loomset materjali. Detritofaagid on äärmiselt olulised loomad enamuses ökosüsteemides ja tõenäoliselt tarbivad kui 90% taimsest produktsioonist.

On võimalik laiendada loomadel käsitletud looma energiabilansi analoogiat ökosüsteemile arvutades analoogselt välja energia transformatsiooni efektiivsuse nii troofiliste tasemete see kui ka troofiliste tasemete vahel. Nii on 100A/C taimede troofilise taseme korral primaarproduktsiooni efektiivsus, järgmiste tasemete korral assimilatsiooniefektiivsus. 100P/C ja 100P/A on vastavalt kogu produktiivsuse ja kasuliku produktiivsuse indeksid.

Vähemalt sama olulised on järgnevate troofiliste tasemete omavahelise produktsiooni võrdlemine vastavalt 100C2/C1, 100A2/A1, 100P2/P1; 100C2/C3 jne. On üsna üldine reegel, et need suhted on ligikaudu 0,1 ehk 10%. See tähendab, et 10% energiast, mida tarbitakse esimese taseme poolt, tarbitakse järgmise taseme poolt. Täpselt samuti ligikaudu 10% eelmise taseme produktsioonist kasutatakse ära järgmise taseme produktsioonis. See on äärmiselt üldistatud näitaja ja kohates sellest erinevusi,

ei tasu ära ehmatada.

Teine väga kasulik ja informatiivne ökoloogiline energiamäär on $100 C_n/P_n-1$ (vastavalt ka $100C_3/P_2$, $100C_4/P_3$). See tähendab, kui mitu protsenti energiast, mis toodetakse ühe troofilise taseme poolt, tarbitakse järgmise troofilise taseme poolt. Vahe ($100-C_n/P_n-1$) näitab, kui mitu protsenti energiat kasutatakse ära saprofaagide poolt. Need määrad võivad vähem kui 5%-st (paljude herbivoorsete loomade korral nagu rohutirtsud, küülikud ja metskits) enam, kui 75% (vetikaid söövad teod ja seemnetest toituvad loomad nagu kõrbenärilised ja sipelgad).

Sellised skeemid, on siiski ääretult lihtsustatud. Organismide vahel on märksa keerukamad suhted nii troofilise taseme see kui ka troofiliste tasemetega vahel. Samuti on organisme, mis on tegelikult paljudes troofilistes tasemetes (näiteks omnivoorid või ka putukatoidulised taimed). See teeb ökosüsteemide modelleerimise erakordselt keerukaks ettevõtmiseks.

Ainevahetuse taseme määramine ja energiabilansi koostamine indiidele ja populatsioonidele on äärmiselt oluline aspekt füsioloogias, kuivõrd see on üks paremaid, täpsemaid ja illustratiivsemaid ja tundlikumaid aspekte ökofüsioloogias, mis võimaldab hinnata loomade funktsiooni ja mõju ökosüsteemidele. Ehk kui paju loomad vahetavad energiat keskkonnaga. Sellepärast on energeetilised uuringud kasutusel paljudes valdkondades ja võimaldavad isegi anda hinnanguid ajaloolistele probleemidele. Kuidas näiteks hangiti piisavalt toiduenergiat suurele orjadehulgale, kes ehitasid Egiptuses püramiide? Kuidas ja kes püstitasid suuri kivikujusid väikestele isoleeritud saartele ja kuidas hangiti energiat sellisel väikesel isoleeritud saarel. Energeetilised uuringud ei suuda loomulikult kõikidele küsimustele vastata, kuid võimaldavad siiski palju selgemini teisi küsimusi püstitada.

Produksioon

Produksioon on see osa assimileeritud energiast, mis kasutatakse ära kudede kasvamisel. See võib olla kas kaalus juurdevõtmine või ka kaalukadu juhul, kui produktsioon on negatiivne. Või ka energiakulu sigimisele (suguorganid, munarakud, seemnerakud, sekreet kudedest). Või ka kaob hiljem mingil kasulikul eesmärgil, näiteks kestumisel, ämblikuvõrgu kudumiseks, mesilasvaha, kitsesarved, molluskite limaeritus

liikumiseks jms.) Selleks, et hinnata produktsiooni efektiivsust, kasutatakse produktsiooni suuruse suhet produktsiooni pluss see oda metabolismist, mis kulub produktsiooniks: $100P/(P+Mp)$. Seda nimetatakse ka füsioloogilise produktsiooni efektiivsuseks. Vahel nimetatakse seda näitajat ka puhasproduktsiooni efektiivsuseks.

Kudede makromolekulide süntees väiksematest molekulidest ongi produktsioon. Biosünteesi arvutuslik energiakulu on üsna väike ja biosünteesi korral on kalkulatiivne energiakulu väike. Näiteks vajatakse keskmiselt kudede biosünteesiks monomeeridest 0,24 kJ g⁻¹ kohta. Samas nendesamade makromolekulide energiasisaldus on ligikaudu 22.86 kJg⁻¹ kohta. Nii kasutatakse üksnes väike osa monomeerides sisalduvast energiast sünteesiks. See on ligikaudu 1%. Kuivõrd ka ATP sünteesil on energiakaod, siis teoreetiliselt saaks füsioloogilise sünteesi efektiivsus olla ligikaudu 95%. Tegelikus elus tuleb siiski arvesse võtta veel teisigi kulusid, mis alandavad produktsiooni efektiivsust.

Loomade embrüote kasv on heaks näiteks eriti kiirest kudede kasvust, mis sageli toimub suletud keskkonnas ja ei ole väljastpoolt tulevat energiavoogu ja ka ei eritata ainevahetuse jääkprodukte (välja arvatud hapnik ja süsihappegaas). Munade puhul on võimalik lihtsalt välja arvutada algselt munades sisalduva energiahulga, embrüo kasvuks läinud energia ja jääkproduktide osa. Näiteks kanamunades on mõõdetud, et kui muna kogu energiasisaldus on ligikaudu 364 kJ, siis sellest 159 kJ assimileeritakse tibus ja 109 kJ jääb kasutamata (rebu, membraanid, jääkproduktid). 96 kJ kaob metabolismi tõttu. Nii on puhasproduktsiooni efektiivsus ligikaudu $100 \times (159/159+96) = 62\%$. Analoogse efektiivsusega arenevad ka paljud teised munad: tigidel 62-67%, siidiussil 63%, konnadel 51%, heeringal 70%.

Munade, piima ja kudede produktiivsuse efektiivsus on äärmiselt oluline põllumajandusliku tootmise korral. Näiteks puhasproduktsiooni efektiivsus piimalehmadel on tavaliselt umbes 30%. Tšempionidel kuni 50%. 50% paistabki tegelikult olema puhasproduktsiooniefektiivsuse ülemine piir, mis näitab, et niisama palju energiat, kui kulub piima sünteesiks, kulub ka ainevahetusele ja kasvule. Füsioloogilise produktsiooni efektiivsus on piima korral 60-65%. Üldiselt on ektotermidel produktsiooniefektiivsus tunduvalt suurem, kui endotermidel.

Keha suurus

Üks väga intrigeerivaid, kuid veel lahendamata probleeme võrdlevas loomafüsioloogias on ainevahetuse taseme ja keha suuruse vahekord. On üsna loogiline, et suuremate loomade ainevahetuse tase peab samuti olema suurem. Elevant on suurem, kui hiir ja tema ainevahetuse tase on ka proportsionaalselt suurem. Mis on siin selleks probleemiks, see on ainevahetuse taseme ja keha massi vaheline seos.

Sõltuvus ainevahetuse taseme (Y) ja keha massi vahel on eksponentsiaalne ja seda saame väljendada valemiga:

$$Y=a*\text{Mass}^b$$

,kus a on kordaja ja b massi eksponent. Selleks, et seda kõverat lihtsamini analüüsida, transformeerime selle lineaarseks, võttes võrrandist kümnendlogaritmi:

$$\log_{10}Y=\log_{10}a+b(\log_{10}\text{Mass})$$

Klassikaline analüüs imetajate ja lindude kohta tõi välja, et ainevahetuse taseme ja kehamassi omavaheline seos ei ole lineaarne. Suurte lindude ja loomade ainevahetuse tase oli märgatavalt madalam, kui seda võis eeldada otsesest proportsionaalsusest ja vastavalt väikeste loomade ja lindude ainevahetuse tase oli oluliselt kõrgem, kui võis eeldada.

Seos keha massi ja ainevahetuse taseme vahel on olnud üheks enimuuritud ja vähem aru saadud. Fakt, et ainevahetuse taseme ja keha massi vahel on mittelineaarne seos, oli ammu teada ja selle põhjuseks arvati olevat keha pinna kaudu toimiv soojuskadu. Kui 1932. a. *Kleiber* avaldas oma uurimise, siis selgus, et regressioonisirge tõus on 0.74, mitte 0.67 (JOONIS 4-6 lk. 93 Whiterist). Kui tõus oleks olnud 0.76, siis see tähendaks, et ainevahetuse tase sõltub kehapinnast. On ka uurijaid, kes siiski väidavad (Heusner, 1982), et eksponent 0.75 on statistiline artefakt, mis on saadud lihtsalt liiga erinevate loomade kokkupanekul ja leidis, et liigisisest arvutades on eksponent palju lähemal 0,67-le, kui 0,75-le. Ja tõepoolest, ainuraksete korral on leitud, et eksponent on 0.66 ja 0.69 endotermsetel loomadel. Hulkraksetel ektotermidel aga, on

eksponent 0.88. Samas on ka selliseid hulkrakseid ektotermide, kellel kordaja on lähedane endotermsete loomade omale. Kuivõrd ektotermid ei pea täiendavat sooja tootma seoses keha pinna suurenemisega, siis on see loomulikult kõige arvestatavam fakt *Heusneri* teooria vastu. Samuti peab silmas pidama, et kordajat 0,75 ei saa üle tähtsustada. On loomi, näiteks üks maoliik (boid and colubrid snake), kellel ühtede andmete korral kordaja on 1 ja teiste andmete korral 0.6. Seega katsetingimustest ja looma seisukorrast sõltub samuti väga palju. Päriskonnad *Rana*, kellel kordaja on 1.06, *Xenopus* 1.08 samas kärnkonnal *Bufo* 0.75. Surusääsk *Chironomus* 0,47, tuhatjalg *Arthroshaeana* 0,32.

Kindlasti on oma osa keha pinnal. Samas piisab ühest näitest, et kui põdral oleks sama ainevahetuse tase (suhteliselt keha massi suhtes) kui hiirel, siis oleks põdra naha pinna temperatuur lähedane vee keemistemperatuurile. Peale keha pinna erinevuse on veel terve hulk tegureid, mis kaasnevad keha massi muutmisega: muutub rakkude arv, nende kogu ja suhteline pindala keha massi suhtes muutub. On vaja pisut kujutlusvõimet, et aru saada kui palju toimub energiavahetust rakumembraanide vahel ja kuidas see võib mõjutada üsna "rohmakat" mõõdet nagu ainevahetuse tase. Siiski on kordaja 0,75 väga aktsepteeritud üldistus ja kui ei ole olemas konkreetseid mõõtmistulemusi selle või teise loomaliigi kohta, siis saame kasutada teoreetilistes arvutustes seda kordajat edukalt.

Loomade energiatarvidust mõjutavad väga paljud tegurid, aktiivsus, füsioloogiline seisund, liikumine, sigimine jms. Igal juhul on, arvestades energiabilanssi võimalik hinnata, missugune protsess konkreetses situatsioonis kui palju energiavajadust suurendab või vähendab.