



Maa-alustes käikudes elutseva paljastuhnuri keha on peaaegu karvadeta, kuid tal on tundlikud vurrud. Hajusad komplekarsad paiknevad ka looma kehal ja sabal. Varvaste vahel on luuana toimivad karvad

## Kuhu küll kõik karvad jäid? Karvutud imetajad karvaste seas

Imetajate karvad toimivad isolatsioonina, aitavad kaitsta päikesevalguse, niiskuse ja hõõrdumise ning parasiitide ja mikroobide eest. Ühtlasi aitavad nad kujundada kaitsevärvust ja toimivad sotsiaalse signaalina, näiteks saab karvu turritada.

### Tambet Tõnissoo

Imetajate seas leidub nii väga tiheda karvastikuga liike (nagu merisaarman, kellel on eri kehapüirkondades 26 000 – 165 000 karva/cm<sup>2</sup>) kui ka hõredakarvalisi liike, kes on evolutsiooni käigus enamiku karvu kaotanud. Näiteks Ida-Aafrikas maa-alustes tunnel-süsteemides elavad paljastuhnurid (*Heterocephalus glaber*) on peaaegu karvutud. Paljastuhnuri kehatemperatuur ei ole püsiv, loomad saavad



**Lemmikloomapidajate hulgas on väga hinnatud geneetiliste mutatsioonide tõttu karvutud koera- ja kassitõud, merisead, hamstrid, hiired ja rotid.**

sooja end üksteise vastu surudes ja soojaõhuvanne võttes, liikudes soojemates tunnelites.

Samuti on enamjao karvastikust kaotanud veelise eluviisiga imetajad

(vaalad, delfiinid, meriveiselised), kes ei vaja karvu. Nii on lihtsam ujuda ja sukelduda, kuna veetakistus on väiksem. Vältimaks soojakadu on neil naha alla varutud suur kogus energiarikast rasva ehk traani.

Suurtel maismaaimetajatel, nagu aafrika elevant, ninasarvik ja jõehobu, on nahk kaetud vaid hõredate harjastega. Mida suurem loom, seda väiksem pindala üldise kehamassi suhtes ja seda raskem on isendil keha liigestest kuumusest vabaneda. Kui mõelda väljasurnud karvaste mammutite ja ninasarvikute peale, siis nende elukeskkond oli külm ning tihe karvastik aitas hoida kehasoojust ja vähendada toidutarbimist. Nüüdisaja megaherbivoorid ehk suured taimtoidualised loomad elavad palavates kliimaolu-

des, kus tihe kasukas oleks neile suurtele loomadele surmav.

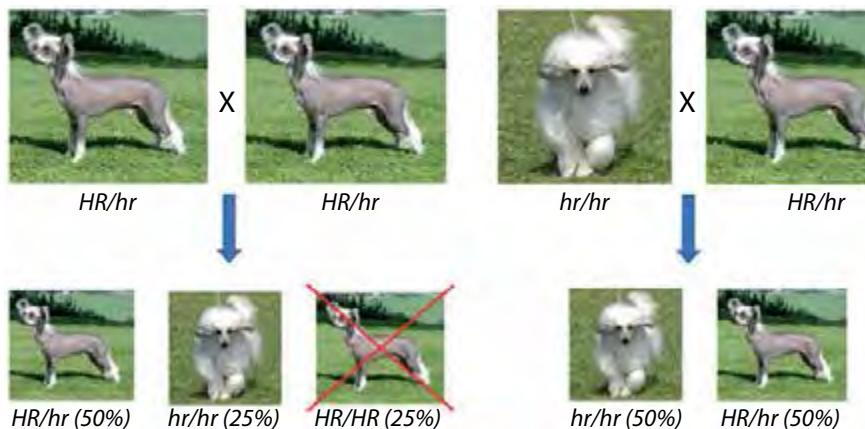
**Karvad on võimelised looma elu jooksul märkimisväärselt uuenema.** Karvafolliikuli (üksus, mis vastutab karvade arengu eest) võime karvu taastoota oleneb spetsiaalsest tüvirakkudest. Karvad kasvavad tsüklikena. Karval on kasvufaas (anageen), mil keratiini sisaldavate rakkude kaasabil kujuneb karv; hääbumis- ehk vahefaas (katageen) ja puhkefaas (telogeen), kus folliikulist kasvab uus karv ja vana karv langeb välja.

Näiteks inimese juustes on suurem osa karvu (80–90%) kasvufaasis, 1–2% vahefaasis ja ülejäänud 10–20% puhkefaasis. Karvade kadu on seotud häiretega telogeenis (liigne karvade väljalangemine) ja anageenifaasis (võimetus moodustada ja kasvatada uusi karvu, näiteks meeste kiilaspäisuse korral).

Peale loomuliku karvade väljalangemise (aastaajast tingitud karvavahetus, suve- ja talvekarvastik, karvade vähenemine vanuse tõttu) kimbutavad loomi mitmesugused geneetilised mutatsioonid, arenguanomaaliad ja haigused, mis võivad karvakasvu pidurdada või ajendada karvade väljalangemist.

Põhjus võib seisneda toitainete (nt tsink, vitamiinid, valgud) puuduses, suguhormoonide ja kilpnäärme hormoonide tasakaalu muutustes, autoimmuunhaigustes, bakterite (nt *Staphylococcus*) ja seennakkustes (*Microsporium canis*; *Trichophyton tonsurans*), parasiitides (nt süüdiklest, *Sarcoptes scabiei*), stressis, käitumisanomaalides, nagu enda või kaaslaste karvade väljakitkumine või kratsimine [2]. Peale selle on teadlased leidnud terve hulga pärilike muutusi karvutust põhjustavates geenides.

**Karvutud loomatõud.** Lemmikloomapidajate hulgas on väga hinnatud geneetiliste mutatsioonide tõttu karvutud koera- ja kassitõud, merisead, hamstrid, hiired ja rotid. Mitu arhailist koeratõugu,



◇ Hiina harjaskoera ristamise skeem. Hiina harjaskoer on dominantne karvutu tõug. Karvutu välimuse jaoks on vaja ühte muteerunud geeni koopiat



Foto: Dmitry Makeev / Wikimedia Commons

Leidub ka karvutuid kassitõuge. Neist vast tuntuim on sfinks. Ehkki sfinks näeb välja karvutu, on ta kehal väikesed udemelaadsed karvad. Põhjuseks on mutatsioon geenis *Keratin 71 (KRT71)*, mistõttu karvade normaalne keratiniseerumine on häiritud ja need eemalduvad kergesti

nagu *xoloitzcuintli* (mehhiko karvutu koer), hiina harjaskoer, argentina *pila* ja peruu karvutu koer, on enam-vähem karvadeta. *Xoloitzcuintli* (asteegi keeles *Xolotl* 'tule- ja äike-sejumal', *itzcuintli* 'koer') oli juba üle 3000 aasta tagasi asteekidele väga tähtis ja austatud koeratõug. Ehkki *xoloitzcuintli* on enamjaolt karvutu, on tal säilinud mõningad karvad sabal ja pealael.

Mehhiko ja peruu karvutu koer ning hiina harjaskoer on dominant-sed karvutud tõud, seega on vaja ühte muteerunud geeni koopiat, et aval-

duks karvutu fenotüüp. Kuna geenid päritakse vanematelt (emaselt koeralt ja isaselt koeralt), on diploidsel indiviidil kaks geenikoopiat (alleeli) vastava tunnuse kohta, üks isalt ja teine emalt.

Kui vastavad alleelid on samad, on tegemist homosügootsusega, kui erisugused, siis heterosügootsusega. Seega, kui koeral on kaks karvutust põhjustavat (HR) alleeli (homosügootne), siis ta on teoreetiliselt karvutu. Kui tal on nii karvutust põhjustav (HR) alleel kui ka karvasust tingiv (hr) alleel (heterosügootne), siis ole-

neb fenotüüp sellest, kumb alleel on dominantne (määrab fenotüübi) ja kumb retsessiivne (ei avaldu, kui teine alleel on dominantne).

**Eespool nimetatud karvututel koeratõugudel on karvutust põhjustav (HR) alleel dominantne** ja seega heterosügootsed HR/hr loomad on karvutud. Kui koer on homosügootne ja retsessiivne (hr/hr), siis kujuneb tal välja karvastik. Kui karvutust põhjustav mutatsioon on homosügootne (HR/HR), ei ole indiviid elujõuline ja hukkub varakult juba emakas. Kui paaritada kahte karvutut koera (nt hiina harjaskoera; HR/hr x HR/hr), siis saame 25% järglasi hr/hr-genotüübiga (karvane), 50% HR/hr-genotüübiga (karvutu) ja 25% HR/HR (embrüonaalselt letaalne; ♦).

Kui paaritada karvutu HR/hr ja karvane hr/hr, siis 50% on HR/hr-genotüübiga (karvutu) ja 50% hr/hr-genotüübiga (karvane), vältides niimoodi letaalselt HR/HR-vormi (♦). Kui karvaseid hr/hr ja hr/hr paaritada omavahel, on tulemuseks ainult karvased kutsikad.

Hiina harjaskoera, mehhiko ja peru karvutu koera puhul on leitud, et mutatsioon transkriptsioonifaktori Foxi3 (ingl *forkhead box transcription factor family*) geenis põhjustab karvade ja hammaste arenguano-maaliaid [1]. Neil karvututel koertel tuleb ette ka karvafolliikulite arenguhäireid. Katsetes hiirtega on tehtud kindlaks, et Foxi3 on oluline karvafolliikulite tüvirakkude aktivatsioonis, mõjutades karvade kasvu ja uuenemist [5].

Ueema tõu ameerika karvutu terjeri (ingl *American Hairless Terrier*) puhul on karvutust põhjustav muteerunud geen retsessiivne. Karvutu fenotüüp tekib juhul, kui vastav geen pärineb mõlemalt vanemalt. Homosügootne retsessiivne genotüüp ei ole embrüonaalselt letaalne, kutsikad sünnivad tervena ja hajusate väikeste karvadega, mis kaovad esimese kuu jooksul (hüpotrihhoos). Ameerika karvutul terjeril ja ka šoti hirvekoeral põhjus-



Foto: Sulev Kuuse

Kümne päeva vanused karvutud hiirepojad. Hiireliinil NU/NU puudub harkelund ja nende immuunsüsteemis pole seetõttu T-rakke

tab karvutut fenotüüpi mutatsioon ensüümi SGK3 (ingl *serum/glucocorticoid regulated kinase family member 3 gene*) geenis [3]. Katsetes hiirtega on ilmnenud, et SGK3 mängib sünni järel suurt rolli karvafolliikulite arengus, mis seletab ka seda, et alguses nendel terjeritel karvad küll tekivad, aga hiljem kaovad, kuna ensüüm on defektne.

**Närilised on hea mudel uurimaks sedagi, miks teatud piirkondades ei leidu karvu.**

**Hästi tuntud on karvutud hiired** (ingl *nude mice*), kellele on omane kaasasündinud atüümia (puudub harkelund ehk tüümus, seega ei toodeta T-rakke), mis on põhjustatud mutatsioonist transkriptsioonifaktori *Foxn1* geenis. Selle tagajärjel on karva moodustavate keratiinide tootmise regulatsioon häiritud. Ehkki karvafolliikulid arenevad normaalselt, on tekkivad karvad ehituselt nõrgad ja murduvad pinna lähedalt [4]. Immuunpuudulikkuse ja karvutu fenotüübi tõttu on need hiired hea objekt meditsiinilistes uuringutes. Samamoodi on laborites kasutusel karvutud rotid, kellel on samuti mutatsioon *Foxn1* geenis.

Närilised on hea mudel uurimaks sedagi, miks teatud piirkondades ei leidu karvu. Enamik kehapiirkondi on imetajatel kaetud karvadega, mis erinevad piirkonniti oma tiheduselt, pikkuselt ja paksuselt, aga samas leidub ka piirkondi, mis on täiesti karvutud. Inimesel pole karvu peopesades, randmete ventraalsel (kõhtmisel) osal ning jalataldadel.

Väga harvadel juhtudel on kirjeldatud arenguhäiret, mille tõttu katavad karvad ka peopesi ja taldu. Hiirel on karvutud alad näiteks jalapadjandid ja nn plantaarne epidermis (sarnane piirkond kui inimese randme ventraalne osa). Samas näiteks küülikul ja jääkarul on see piirkond karvane.

Põhjus, miks meil peopesad on karvutud, võib olla seotud WNT-signaalaraja inhibeerimisega. Nimelt on katsetes hiirtega tehtud kindlaks, et WNT-signaalarada on ülioluline karvafolliikulite arengus, kontrollides karvade kasvu. Hiirtel takistab WNT-signaali ülekannet valk nimega DKK (*Dickkopf*). Kui vastav *Dkk*-geen karvavabast piirkonnast välja lülitada, siis on WNT-signaalarada töökorras ja seetõttu kasvavad sinna karvad [6]. ■

1. Drögemüller, Cord et al. 2008. A mutation in hairless dogs implicates FOXI3 in ectodermal development. – *Science* 321 (5895): 1462.
2. Novak, Melinda A.; Meyer, Jerrold S. 2009. Alopecia: possible causes and treatments, particularly in captive nonhuman primates. – *Comparative Medicine* 59 (1): 18–26.
3. Parker, Heidi G. et al. 2017. The bald and the beautiful: hairlessness in domestic dog breeds. – *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 372 (1713): 20150488. doi: 10.1098/rstb.2015.0488.
4. Segre, Julia A. et al. 1995. Positional cloning of the nude locus: genetic, physical, and transcription maps of the region and mutations in the mouse and rat. – *Genomics* 28 (3): 549–559.
5. Shirokova, Vera et al. 2016. Foxi3 deficiency compromises hair follicle stem cell specification and activation. – *Stem Cells* 34 (7): 1896–1908.
6. Song, Yaolin et al. 2018. Regional control of hairless versus hair-bearing skin by Dkk2. – *Cell Reports* 25 (11): 2981–2991.e3.

**Tambet Tõnissoo** (1976) on Tartu ülikooli arengubioloogia õppetooli juhataja ja kaasprofessor.