

8. Gaia. HEGAZTIAK: TEROPODO HEGALARIAK

Ikuspegi kladistikotik behintzat hegaztiak dinosauro teropodoen artean sailkatu dira. Hori da egun ikertzaile gehienek iritzia, baina hegaztien sorrera eta eboluzio goiztiarrari buruzko eztabaida luzea eta korapilotsua izan da azken bi mendeotan.

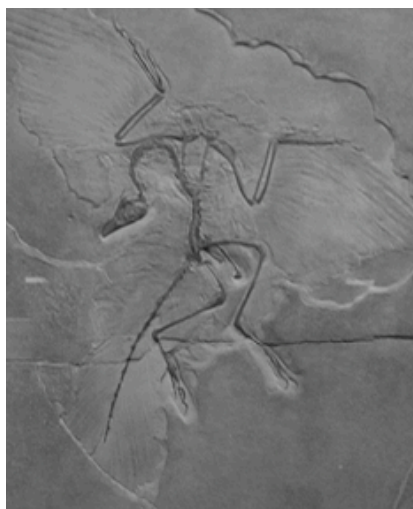
Hegaztiak dinosauro sauriskio teropodo dromeosauruen hainbat ezaugarri heredatu dituzte. Hegaztietan hain arrakastatsua den hegakera ez legoke garatuko heredentzian jasotako ezaugarri horiei gabe.

Ondorengoak dira heredentzian jasotako ezaugarriak (sinapomorfiak):

- ✓ Kranioaren eta bizkarrezurraren arteko giltzadura kondilo okzipital bakarraz gauzatzen da.
- ✓ S-itxurako lepo luze mugikorra.
- ✓ Eskeleto liraina dute. Hezur pneumatikoak dituzte. Sauropodo handietan pneumatizitatea dago hezurretan, hau da, hezurak barrutik hutsak daude. Horrek animalia arindu egiten du.
- ✓ Furkula (klabikula fusionatuak) sauriskio teropodoetan agertzen den ezaugarria da eta gerri pectorala egonkortu egiten du. Hegakerak eskatzen duen ahalegin handi horretan furkulak lagundu egiten du.
- ✓ Orkatileko giltzadura intertarsala eta ezkuturreko giltzadura (ilargi erdia).
- ✓ Lumak. Lumak + hegan egiteko ahalmena → arrakasta ebolutiboaren giltzarri.

Bestetik, ezaugarri apomorfikoak hurrengoak dira:

- ✓ Arraun-lumak. Arraun-lumak besoetan eta buztanean agertzen diren eta bexilo asimetrikoak dituzten lumak dira. Luma hauetan ardatza (errakia) albo batean kokatzen da, beraz, lumaren errakiaren alde bakoitzeko azalerak desberdinak dira. Arraun-lumak hegan egiteko lumak dira, hortaz, luma hauek adierazten dute animaliak hegan egiteko moldatuta daudela.
- ✓ Karena esternoiazen zabalketa da plano sagitalean alde bentralera. Karenari esker, muskulatura pectorala ezartzeko eta hegoak astintzeko azalera emendatzen da. Horri esker modu boteretsuan hegan egin ahal dute.



Ezagun den hegazti fosil zaharrena *Archaeopteryx* erliktikoa da. Espezimen gutxi batzuk soilik bildu dira, gehienak Bavariako Solnhofeneko Goi Jurasikoko kareharrietan, duela 150 Mu sortuak. Fosil hauen azterketa morfologikoak adierazten duenez, *Archaeopteryx* ezaugarri goiztiar asko gordetzen ditu (plesiomorfiak: hortzak, erpeak eskuetako hatzetan eta isats luzea, besteak beste). *Archaeopteryx*en lumak ondo garatuta daude. Hegoetako lumak bereizita daude jada, eta eskuetan arraun-luma primarioak eta besoetan sekundarioak dauzka, egungo hegaztien ereduan bezalatsu. Gainera, arraun-lumek bexilo asimetrikoa (apomorfia) dute, hegaldi aktiboarekin lotutako aerodinamikak eragindako lumetan espero bezala. *Archaeopteryx*en isats lumatsuak, berriz, ez du parekorik beste inolako hegaztietan. Bertan, errektiz edo lema-lumak 15 bikotetan daude antolatuta,

bizkarrezurrez hornitutako isats luzearen alde bietara. Ezaugarri hauek direla eta, *Archaeopteryx* berehala dinosauro eta hegaztien arteko katebegia zela interpretatu zen.

Hegan egitearen sorrera: hipotesiak

1. Zuhaitzetan bizitzetik.

- Arbasoa teropodo txiki zuhaiztarra (hoatzin gazteak).
- Jauzika → planeatzailea (Draco).
- Hegoak → hegalaria ahulak.
- Erabateko hegalaria aktiboak.
- Zuhaitzarra eta bipedoa?

2. Kurtsorearen teoria.

- Arbasoa teropodo lasterkari bipedo lurtarra.
- Protohegoak → lasterka egiteko eta jauzirako lagungarri.
- Paparreko muskuluak indartu → hegalaria aktibo.
- Protohegoak azkarrago joateko? Edo galgatzaille?

3. Kurtsorearen teoria bermoldatua.

- Arbasoa teropodo lasterkari bipedo lurtarra.
- *Archeopteryx* hegoak ez dira hegalarientzako → 1. + 3. hatzetan erpeak, giltzadura bereziak, karpometakarpofusioa ez, karpometakarpofusioa ez → teropodoen antza.
- Protohegoak → harraparitzarako tresnak.
- Jauzirako eta lurreratzeko lagungarri → hegan egiteko.

Hegaztien eboluzioa

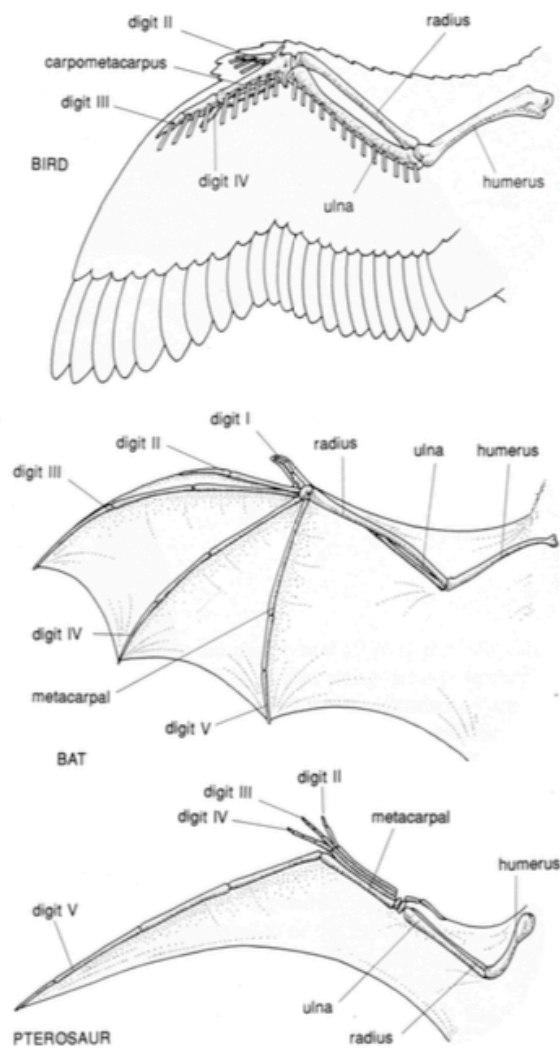
Kretazeoan hegaztien lehenengo irradiazioa eta tertziarioan bigarren irradiazio handia eman zen. Lehenengo irradiazioan hegazti modernoak sortu ziren: *Concornis*, *Sinornis*... Hauek hegan egiteko moldapenak zituzten: gerri eskapularra, karpometakarpofusioa, isats laburra... baina hortzak zituzten. Aniztasuna handia zegoen: *Hesperornis*, *Ichthyornis*... arrainjaleak ziren. Hegazti modernoak mesozoikoko hegaztiak albo batera utzita, beste hegazti guztiak dira. Zenoziokoan irradiatu ziren egungo talde gehienak: pinguino, ostruka, albatros, lertxun, ahate, belatz, okil...

Lumak nola sortu ziren? Zergatik? Endotermiarako? Isolatzaile? Harraparitzarako? Lumak dromeosauoetan ez ziren hegan egiteko erabiltzen.

Eguno hegaztiak

Hegaztiak sekulako arrakasta lortu dute, eta egun 9000 espeziez gora izanik, ornodun lehortarren arteko talderik dibertsoena dira, munduan diren ingurune mota guztiak eta nitxo ekologiko desberdin anitz betetzeko gai izan direlarik. Kladogenesi eta arrakasta honen gakoak hegan egiteko ahalmenarekin, aktibitate metaboliko handia mantentzea ahalbidetzen duen endotermiarekin eta entzefaloaren garapen handiarekin lotzen dira batez ere.

Gaur egun hegaztietan bi talde bereizten dira: paleognatuak (55 spp; ostrukak, kasuarioak, emuak, ñanduak, kiwiak...) eta neognatuak.



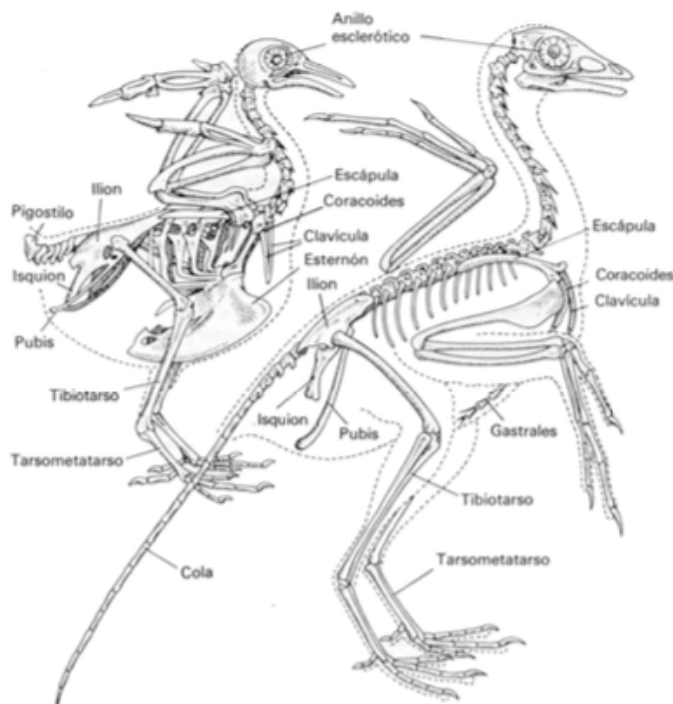
Lumazko hegoari esker, pterosauru eta saguzarretan ageri den patagioa baino hego-eredu egokiagoa garatu zen. Lumak pterosauruen hegoko mintzak baino zurruntasun gehiago ematen dio hegoari. Lumazko hegoak fisikoki hondatzea askoz ere zailagoa da, eta konpontzea ere errazagoa, besteak beste beren egituran ez baitute hezur luze, mehe eta hauskorren beharrik. Animalia hauetan mudak agertzen dira, baina ere bai lumak erregeneratzeko ahalmena dute. Luma bat galtzeak ez dauka hainbesteko eraginik lumak berriztu egiten direlako modu erregular batean.

Gainera, lumazko hegalak atzeko hankekiko independenteak dira, ez dute kontaktu fisikorik (pterosauru eta saguzarretan bai). Horri esker, hankek zenbait moldaeretarako espezializatzeko aukera izan dute, hala nola igerian egiteko, lurrian higitzeko, harrapakaritzarako, objektu edo jakiak manipulatzeko...

Hegan egiteko aukeraz harago, lumek badituzte bestelako abantailak ere. Horien artean gorputza bero mantentzeko lagungarria den isolamendu-ahalmen handia azpimarratu behar da. Honi esker errazago gertatzen zaie hegaztiei gorputz-tenperatura altua mantentzea, eredu metaboliko homeotermoari lagunduz. Lumek ahalmen komunikatzailea (koloreak...) eta babestzailea dute baita ere.

Hegan egiteko ahalmenak beste hainbat eratan ere eragin du hegaztien eboluzioan. Izan ere, hegan egiteko ahalmenak sekulako berrantolaketak eskatu ditu hegaztien jatorrizko eredu anatomikoan, eta bere eragina anatomiaren atal guztietara iritsi da. Horrela, eboluzioan zehar hegaztiek ahalik eta gorputz lirain eta maniobrableana izatea faboratu da, eta honek makina bat egituraren sinplifikazioa edota ezabatzea ere ekarri du. Alabaina, eta hegan egiteak eskatzen duen potentzia handia tarteko, zenbait gorputz zati ezin izan da murriztu, kontrakoa baizik (hegan egiteko erabiltzen diren muskulu sortak adibidez). Bestalde, maniobrabilitatea hobetzeko aproposagoa da gorputz trinkoa, pisurik gehiena bere grabitate-zentroaren inguruan bilduko duena, eta honek hegaztien soinenborraren konpaktazio eta zurruntzea ekarri ditu.

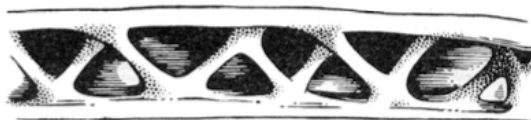
Hegan egiteko ahalmenak, ordea, muga morfofuntzional gogorrak ere ezarri ditu hegaztien eredu anatomikoaren bilakaera eta dibertsifikazioan. Ondorioz, hegaztien taldean homogeneousotasun anatomiko handiagoa aurkituko dugu. Izan ere, hegan egitea lokomozio-bide arrunt erabilgarria da, baina baita, aldi berean, eskakizun energetiko handienekoa ere. Hegan egitea hasierako faseetan garestia da, gastu metaboliko handia dago, baina azkenean hegan egitea lokomozio eredu merkea da, animalia oso urrun joan daitekeelako eta planeatu egiten duelako. Hegaztia gastu hori merketzera joango da, horregatik hegaztiak txikiak dira. Hegazti handiak ez dira hegalaria, ezin dutelako pisu handi hori altxatu.



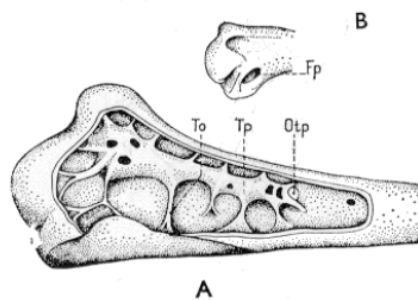
Energia-kontsumoa minimizatzearen bidetik, beraz, hegaztiak ezin aldendu izan dira diseinu aerodinamikoaren eskakizunetatik. Horren ondorioz, hegazti gehienek antzekotasun handiak dituzte, eta homogeneotasun hori mantendu egin da lerro nagusietan, zenbait taldetan (pinguino, ostruka, emu, kasuario...) sekundarioki hegan egiteko ahalmena galdu izan bada ere.

Hegaztien eskeletoaren ezaugarri bereizgarrien artean, azpimarratzekoak ditugu hegan egitearekin lotuta lortutako moldaerak; beren artean azpimarratu behar dira, batetik, animalia baten pisua liraintzearen aldeko bidea, eta bestetik, maniobrabilitate handiagoa baimenduko duen gorputzaren konpaktazioa.

Eskeletoaren pisua bide desberdinetatik murriztu da hegaztien kasuan. Zenbait hezur murriztearekin batera, mantendu direnak liraintzeko ere aldaketak gertatu dira. Izatez, hegaztien hezur asko hodi hutsak dira (hezur pneumatikoak). Honelakoetan, hezuraren kanpo-itxura ez da aldatzen, eta beraz, azalera berdintsua eskaintzen du muskuluak txertatzeko, baina askoz ere pisu txikiagoa izanda. Liraintasun honek sendotasunik ken ez diezaion, hezuraren barne-barrunbea hegaxka zeihar ugariz sendotuta dago. Bestalde, hezur-barrunbeak airez beteta egoten dira, eta aire-zorroren luzapenei lotuta. Hegazti handienetan (lertxun, amiamoko...), hezuraren pneumatizazioa nabarmenagoa da espezie txikienetan baino.



Saiaren metakarpiarraren ebaketa



- A) Oilaskoaren humeroaren buruaren ebaketa.
B) Buru beraren kanpo ikuspegia, foramen pneumatikoa agerian duela.

Eskeletoaren liraintze orokorrak beste zenbait aspektu ere biltzen ditu, hala nola, barailen liraintzea eta hortzen desagerpena, ornoztako isatsaren murriztea, gorputz-adarrak geroz eta hezur gutxiagoz osatzea, edota oro har animalien gorputz-enborra laburtu eta trinkotzea. Hegan egitearekin lotuta ulertu behar dira, aurreko gorputz-adarren eraldaketak, gerri eskapularrean gertatutakoak, eta esternoari dagozkionak. Azken hauek bereziki garatu dira, hegala mugituko dituzten muskulu handi eta ahultsuei txertaleku aproposak eskaintzeko. Aurreko gorputz-adarretan eskuko hatzak hiru baino ez dira geratzen (II., III. eta IV.a). III.a izango da hezur karpometakarpal luzatu bakarraz batera, hegala azalera distal nagusiaren sostengu nagusia.

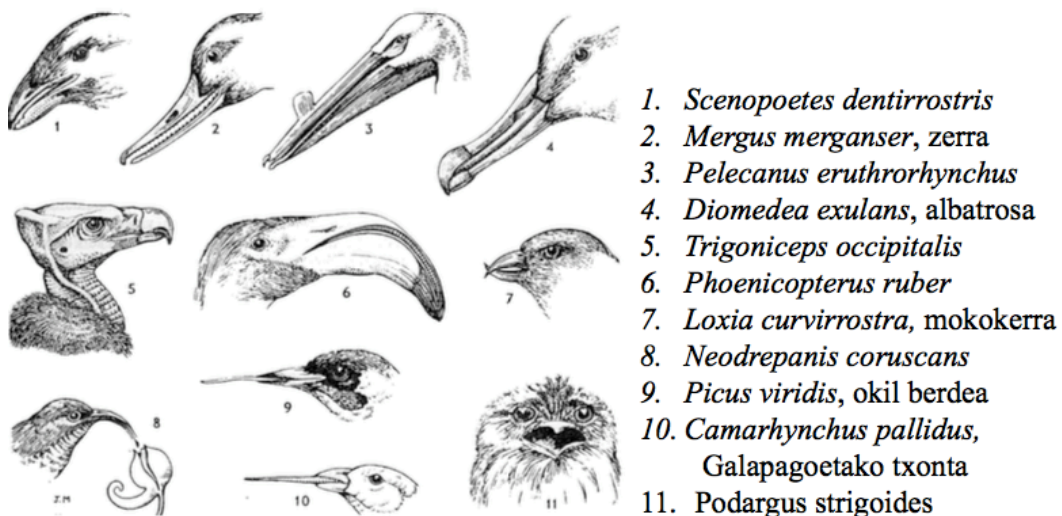
Atzeko hanketan ere hainbat eraldaketa aurkituko ditugu, gehienetan lokomozio bipedorako espezializazioen bidetik, baina baita igeriketara edo beste hainbat funtziotara egokitze ere. Horretarako atzeko soinadarrak luzatuak dituzte. Fibula murriztuta dute, eta orkatila eta belauna oso goian kokatzen dira. Tibia luzea dute eta hezur tartsal batekin fusionatuta dago (tibiotartsoa). Animalia plantigradoa da, falangeen gainean ibiltzen da, V. behatza galduta duelarik. 3 behatz aurrera begira eta laugarrena atzera begira kokatzen da. Atzeko soinadarren hezurak nahiko pisutsuak dira, eta beste hezur luzeak (erradioa...) hezur pneumatikoak dira. Eskapula murriztua baina luzatua dute eta korakoidea esternoiarekin kontaktuan. Esternoi karenaduna dute. Horrek guztiak hegala kolpe bakoitza egonkortu egiten du.

Hegaletan 3 atzamar soilik dituzte, 2 oso murriztuta daude eta besteak hegoaren alde distalaren ardura darama. Falange metatarsaleko lumak bultzadaz arduratzen dira eta ulnari lotutako lumak altxatze indarraz arduratzen dira. Hegaztietan aurre soinadarrekiko grabitate zentrua dromeosauruetan baino hurbilago dago, horrela hegakera efizienteagoa da.

Bizkarrezurrari dagokionez ere hegaztiek badute hainbat aldaketa. Hegaztien bizkarrezurrak S itxurako eskualde zerbikal luze eta malgua ageri da. Eskuade zerbikalean orno oso moldagarriak dituzte. Orno zerbikal hauetan giltzadura heterozelikoak agertzen dira. Eskualde toraziko, lunbar eta kaudalak, berriz, oso zurrunk dira, eta bertako orno gehienak elkarri lotuta egoten dira sinsakro izeneko egitura osatzeko. Animalia hauek lepotik buztaineraino hegitura zurrunk dira.

Azkenik, kranioak sinplifikazio handia ageri du. Kraneo arina dute baina kutxa kraneal handia. Barailak laburtu eta hortzak galdu egin diren arren, hegaztiek nahitaezkoa dute elikagaiak eskuratzea, maneiatzea edota zatikatzea ahalbidetuko duen tresnaren bat, eta horretarako keratinazko estalki korneoz osatutako mokoia izango dute asmakizun aproposa. Forma eta tamainak desberdinak izan badaitezke ere, mokoaren oinarritzko eredia antzekoa da hegazti guztietan. Goiko baraila kranioari estuki lotuta ageri da, zenbait espezetan nolabaiteko giltzadura ageri den arren. Beheko baraila, berriz, giltzadura sinplez lotzen zaio kranioari. Mokoaren kanpo azalera korneoa keratinazkoa da eta higatuz doa. Ondorioz, bertako keratina berritu egiten da, atzazaletan gertatzen den bezala.

Hegaztien dibertsifikazioak, eta batez ere estrategia trofiko ezberdinak jorratu eta nitxo ekologiko desberdinak betetzeak mokoaren forma eta tamainaren dibertsifikazioa ekarri du.

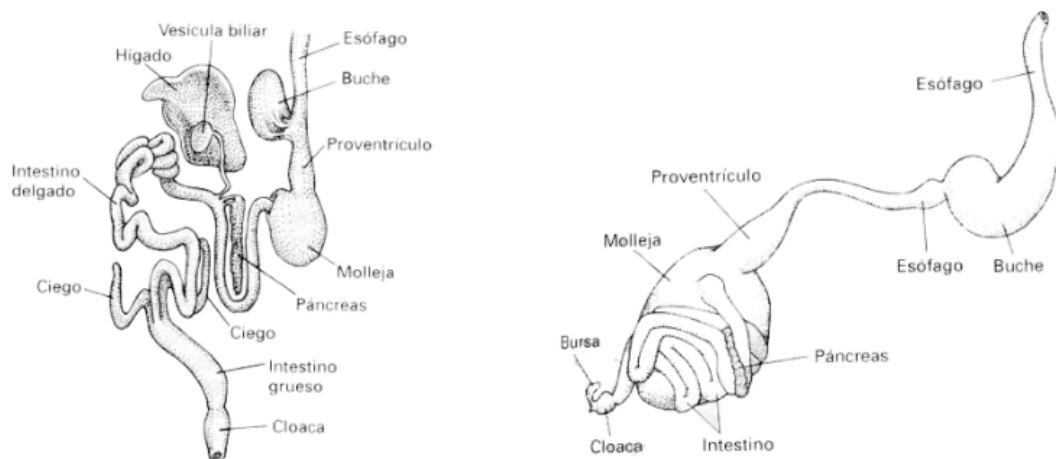


Digestio-aparatua

Digestio-aparatuaren antolakuntzari dagokionez, espezie askotan esofagoaren hormek dilatazio handi bat izaten dute, paparo izenekoa, eta elikagaiak bertan metatzen dituzte irentsi eta berehala. Horrek oso arin bazkatzea ahalbidetuko dio animalari, hau da, animaliak bat-bateko kontsumo handia izan dezake honi esker. Zenbait hegaztitan (uso eta flamenkoetan adibidez) paparoaren hormak puztu egiten dira txitaldian, eta bertan jariakin esnetsu bat ekoizten da, hasiera batean txitak elikatzeke erabiltzen dena. Baina gehienetan helduek paparoa janariz bete eta kumeak elikatzen dituzte haien ahoetan oka eginez.

Hortzik ez izateak digestio mekanikorako tresna garrantzitsu bat kentzen die hegaztiei, eta ondorioz, batez ere haziak edo bestelako material begetalak jaten dituzten taldeek ordeko mekanismoren bat garatu behar izan dute beren digestio-aparatuan lan hori egiteko: errota edo arandoia. Digestio hodian urdail gurutzuaren (proentrikuluaren) ostean agertzen den zabalgunek muskulutsu eta ehun sendoz tapizatua da errota, eta material begetalak bertan xehatzen dira. Lan horretan lagungarri, hainbat hegaztik harea eta harri txikiak irensten dituzte elikagaiarekin batera, gastrolito gisa jardungo dutenak.

Hegaztietan, oro har, urdaila murriztuta egoten da tamainan, bere jarduera jariatzaile eta digestiboa handia izanik ere.



Hegazti gutxi dira material begetal gogor eta digerigaitzez (hosto, belar...) elikatzen direnak. Horrelako materialen digestioak digestio-aparatu handia eta, batez ere, denbora luzez digeritzen aritzea eskatzen du. Hori ez dator bat hegan egiteko beharrek ezartzen dituzten mugekin. Salbuespen gisa, batez ere antzarra, ahate eta beltzargak aipatu behar dira. Hauen estrategia trofikoa hartzidura enterikoa egiten duten ugaztunetan beha daitekeenarekin aldera genezake, batez ere elikagai asko irentsi eta digestio-hoditik azkar pasaraztean oinarritzen dena, etekin energetiko gutxi ateratzen.

Animalia asko latitude epeletan dieta aldakorrekoak dira, eta digestio hodiaren luzera aldatu dezakete bazka motaren arabera.

Arnasketa

Arnasketa (gas trukea) aipagarria da hegaztietan. Hegaztiek birika txikiak baina etekingarriak dituzte. Aire zorroak agertzen dira birikekin asoziatuta. Animaliak airearen fluxua norabide bakarrean garatzen du. Aire unitate bakoitzak arnasbideetan zehar bidaia bat egiten du, aurrerakoa, eta ez da berriz itzuliko, ez bada trakeara. Trakea airearen itzulpena jaso egiten duen bakarra da.

Gas trukea aire kapilare egitura fin eta luzeetan egiten da. Airea sartzen denean balbulak daude, airea aurreko aire zorroetara joan ez dadin. Balbulek aireak atzerantzako bidea hartzea faboratzen dute. Airearen oxigeno kontzentrazioaren arabera balbula batzuk aktibatu eta desaktibatu egiten dira. Airea atzeko aire zorrotara doanean, ondoren parabronkioetara doa. Hor gas trukea gauzatzen da, airea aurreko aire zorroetara doa eta atera egiten da.

Hegaztien birikek eta parabronkioek ez dute bolumena aldatzen, aire zorroak, ordea, bai. Aire unitate bakoitzak bi arnas ziklo oso itxaron behar ditu arnas bide osoa pasatu ahal izateko. Horrela gauzatzen da norabide bakarreko zirkulazioa. Aitzeko zakuak airez betetzen dira, eta biriketako airea zirkularaztea ahalbidetzen dute. Arnasbehera egitean, aire zakuak uzkuritu eta murriztu egiten dira, atzeko zakuetatik parabronkioetara doa airea eta aurre zakuetakoa aireak egingo du kanporazko bidea. Bentilazioa jarraia da, hegan diren beharrian metaboliko handiak asetzeko.

Hegaztiak kantuzaleak diren animaliak dira, baina soinuak ez dira sortzen laringearen goiko partetik, soinuak bronkioen eskualde batetik (siringetik) datoz. Tolesdura horietan airea pasatzean, bibrazioak eman eta soinua ateratzen da. Komunikazio intraespezifikoa akustikoa eta bisuala da.

Zirkulazio-sistema

Hegaztien zirkulazio-sistemak zirkuitu bi ditu, erabat bananduak, eta bihotza lau ganabaratan banatuta dago. Hegaztien odol kapilareak oso finak dira, birikek bolumen aldaketa ez dutelako jasan behar. Airearen norabidea alde batera bada, odolaren norabidea ia kontrakoa da hegaztietan. Horrela odolak oxigeno askoz gehiago kentzen dio aireari. Horrela, tasa metaboliko handia garatu ahal dute, nahiz eta oxigeno gutxi egon. Arnas bideetan ez da aire zikinik geratzen, aireak bultzatu egiten duelako.

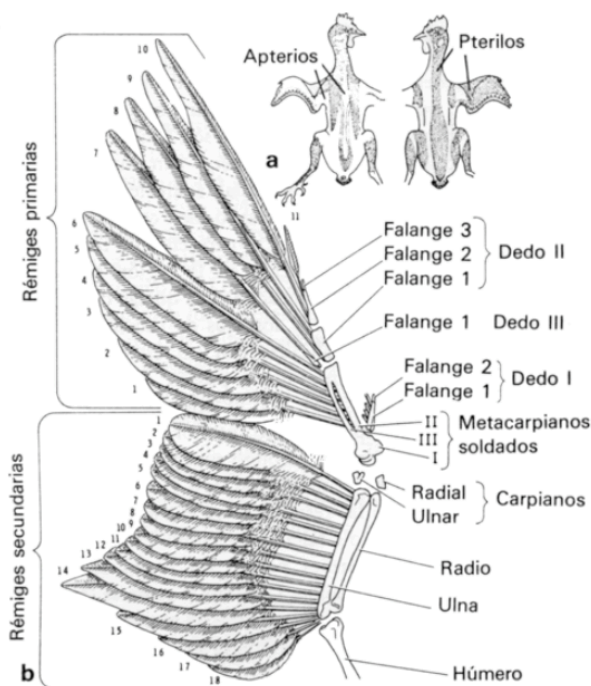
Eskrezio-sistema

Eskrezio-sistema urikotelikoa dute hegaztiekin. Giltzurrun metanefrikoak dituzte, non ureterrek ekoizkina kloakara isurtzen duten. Hegaztietan ez da gernu-puxikarik agertzen (dortoketan bai), puxikak hegaztien pisua emendatzen duelako hegan egiteko ahalmena eragotziz.

LOKOMOZIOA

Hegaztietan zerebroaren garapena ugaztunen parera heltzen da. Aktibitate-maila handia dutenez, entzefalo eta zerebro garatuak dituzte, batez ere eskualde optiko eta otikoak (leinu diurno bat dira hegaztiak), eta mugimendu eta portaeraren koordinazioa.

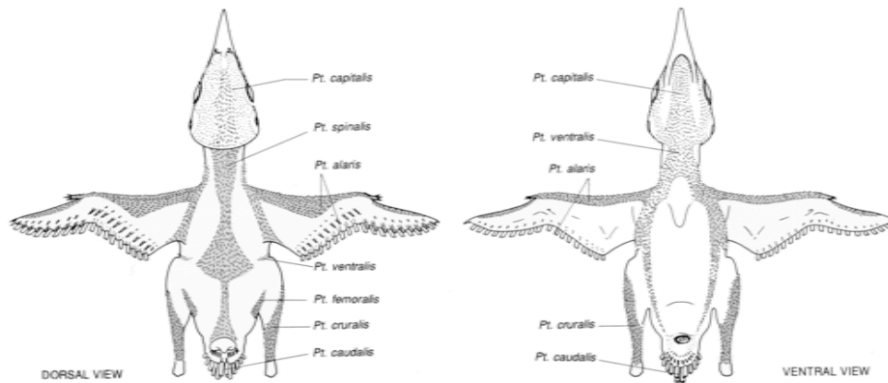
Pteropodo dromeosauruetatik eskumuturraren mugimendua heredatua da hegaztietan. Gainera, hegaztietan gerri eskapularra dortsalagoa da, horrela, arku zabalago bat egin dezakete hegan egitean. Bi ezaugarri horiek lagungarriak dira hegaldian, lumetaz aparte. Lumak jatorrizko narrastien ezkata eraldatuak baino ez direla esaten den arren, hegaztien bereizgarri eta haien arrakasta ebolutiboaren ardatzetako bat izateaz gainera, ornodunen arteko egitura tegumentarioen arteko konplexuenak ere badira. Luma estalgarrien artean bereizi behar dira hegan egiteko erabiltzen diren erremige edo arraun-lumak, erretriz edo lema-lumak eta gainerako estalpen-lumak. Arraun-lumak hegaletako hezurren atzealdeetara daude lotuta, lema-lumak isatsera daude lotuak eta gainerako estalpen-lumak gorputz ia osoan zehar agertzen dira barreiatuta. Azken hauek kolorazioaz eta lokomozioaz arduratzen dira, izan ere, gorputzaren perfila leundu egiten dute eta animalia aerodinamikoagoa egiten dute. Hala ere, lokomozioari begira, hegoetan txertatuta dauden lumak dira garrantzitsuenak. Animaliak hegan egitearen erantzule nagusiak dira arraun-lumak.



Erremigeak (arraun-lumak) luma luze eta zurrunagoak (tenteagoak) izaten dira, ez dute hipoptilorik izaten. Hipoptiloko luma-bizarrek ez dute bizartxorik, ez zaizkio albokoari lotzen, eta luma-bizarrek egitura askea izaten dute. Beraz, arraun-lumek hipoptilorik ez edukitzean, bizartxoak lotuta dituzte eta luma ezin da zabaltu. Beren bexiloa asimetrikoa izaten da, hegan egitean airearen aldera geratzen den erdia estuagoa izaten baita. Erremigeek izen desberdina dute beren kokapenaren arabera. Honela, eskuko hezurrei lotuta daudenei primario deritze; ulnari lotuta daudenak, berriz, sekundarioak dira, eta tertziarioak humeroari lotzen zaizkio (ageri direnean).

Lokomozioan arraun-luma primarioek eta sekundarioek hartzen dute parte. Primarioak bultzada sortzeaz arduratzen dira, sekundarioak, ordea, altxatze indarra sortzeaz arduratzen dira. Animaliak zenbat eta gehiago planeatu, luma sekundarioak garrantzitsuagoak izango dira. Bestetik animaliak zenbat eta hegal kolpe gehiago eman, luma primarioak izango dira gehiago eta garrantzituago. Hegazti migratzaileek sasoi batean planeatu eta beste garai batean lasai egon daitezke bazkatzen, horregatik mota desberdinetako lumak dituzte sasoiatik saioira.

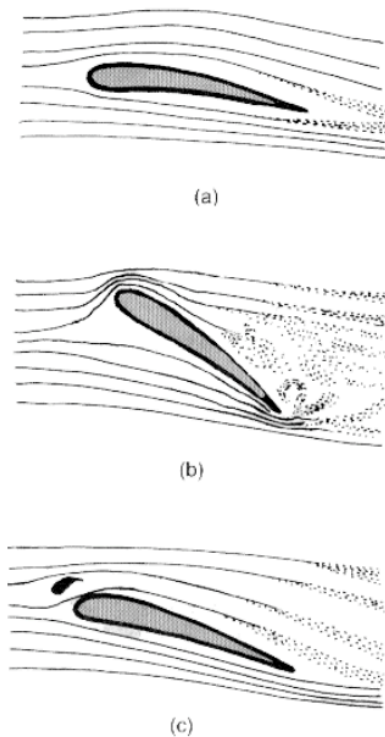
Estalpen-lumak gorputz osoan zehar daude barreiatuta, baina gehienetan banaketa hau ez da erregularra izaten, lumak ondo definitutako eskualdetan bilduta egoten baitira (pterila direlakoetan), eta beren artean lumarik gabeko eskualdeak izaten dira: apteriak. Edonola, ostruka, pinguino eta beste hainbat taldetan ere lumak ia gorputz osoan banatzen dira, apteriarik gabe.



Hegaztiekin 2 indar (altxatze eta bultzada) sortu behar dituzte. Hegalak beheranzko hegal kolpean sortuko du bultzada hegazti txikietan, hegazti txikiek maiztasun handiko kolpenak dituztelako. Hegazti handiek (edo aireratzean bultzada handia sortu nahi duten hegaztiekin) ez dute nahikoa beherantzko hegal kolpearekin. Beraz, goranzko hegal kolpeetan ere bultzada sortu egiten da. Horrek lotura dauka muskulaturarekin, hegaztien muskulatura pektoral handia dute. Animaliak muskulatura pektoral hegal kolpearen beheranzko faserako erabiltzen du. Eta goranzko mugimenduetan kokapen pektoral duten bi pakete muskularrek (*pektoralis* eta *suprakorakoideoa*) indar antagonikoa egiten dute. *Pektoralis* beheranzko hegal kolpearako erabiltzen da eta *suprakorakoideoa* hegal kolpea berreskuratzeko. Hegaldatzeko hegal kolpe pila eta bultzada handia sortu behar duten hegaztiekin (ateek esaterako) *suprakorakoideoa* *pektoralis* bezain garatua izango dute. Izan ere, berreskurapen handia ere izan behar dute.

Muskulaturak lan aerobikoa edota anaerobikoa gauzatu dezake. Altxatze indarra azkar lortzen duten hegaztiekin, lan anaerobikoa garatzen dute, muskulaturak oso arin eragin dezan. Aerobiosiarekin bidez, aldiz, animaliek ez dute erantzun hain azkarrak sortzen, baina aerobiosia luzaroan hegan egiteko mekanismo ona da. Hori kontuan izanda, hegaztietan bi muskulu edo okela mota bereizten dira: gorria eta zuria. Usoek okela gorria dute, izan ere, mioglobina kolore iluna ematen dio muskuluari (metabolismo aerobikoa dute). Bestetik, oiloek okela zuria dute metabolismo anaerobikoa gauzatzen dutelako.

Aipatu bezala, hegan egiteko derrigorrezkoa da altxatze bat sortzea, hau da, hegaztiaren gorputzari eragingo dion goranzko indar bat, grabitatearen indarra gainditzeko adinakoa izango dena. Altxatze hori hegoek sortzen dute. Izatez, hegoak simetrikoak balira gainetik eta azpitik, haien azaleretan zehar pasako litzatekeen aireak presio bera ezarriko luke bi aldeetan. Baina hegoetan gaineko azalera ganbila izaten da, eta azpikoa berriz ahurra, eta horrelako baldintzetan gainetik doan aireak bide luzeagoa egin behar du (eta beraz, azkarrago joan behar du) azpikoak baino. Aireak hegoen azaleretan eragiten duen presioa bere abiadurarekiko inbertsoki proportzionala denez, gainetik doan aireak presio baxuagoa ezartzen dio hegalaria azpitik doanak baino eta, beraz, altxatze bat gertatzen da.



Hegoak sortzen duen altxatze-indarra zenbait faktoreren menpekoa da, eta horietako bat hegala tamaina da. Zenbat eta hegal handiagoa, are eta altxatze handiagoa eragingo du. Bestalde, zenbat eta azkarrago airea pasa hegoaren gaineko aldetik (zenbat eta azkarrago hegan egin), altxatzea handiagoa izango da. Eta azkenik, hegoaren paratze-angeluak ere badu eragina. Hego-azalerak hegaztiaren ibilbidearekiko duen angeluari eraso-angelua esaten zaio eta, eraso angeluak gora egin ahala altxatze-indarrak ere goraegiten du maximo batera iritsi arte. Gehienetan, angeluak 15° gainditzen dituenetan, turbulentziak gehiegizkoak izaten dira eta altxatzea eten egiten da.

Turbulentziak edo zurrunbiloak txarrak dira fluxu laminarra eragotsi egiten dutelako. Zurrunbiloen kontrako bide bat hegala luzatzea da. Horrela, hegala parte gehiena marruskadurarik gabea izango da, marruskaduraren eragina hegala proportzio txikiago batera eraman delako. Bestetik, luma primarioak bereiztea zurrunbiloen kontrako beste bide bat da. Horrek airearen fluxu laminarra mantentzea ahalbidetzen dio animalari, eta beraz, puntetako zurrunbiloak mitigatu egiten dira.

Faktore hauek guztiak kontuan izanik, badira hegala morfologiako hainbat ezaugarri guztiz baldintzatuko dutenak hegan egiteko modua: hegala soslaiak karakterizatzen duen "itxura-ratioa" (Ar) eta hegala azalera eta animalaren pisua erlazionatzen dituen "hego-zama" (WI).

$Ar = L^2 / A$, non L hego-luzera den eta A , berriz, hegoaren azalera.

$WI = m \cdot g / A$, non m animalaren masa den, g grabitateak eragindako azelerazioa eta A hegoaren azalera.

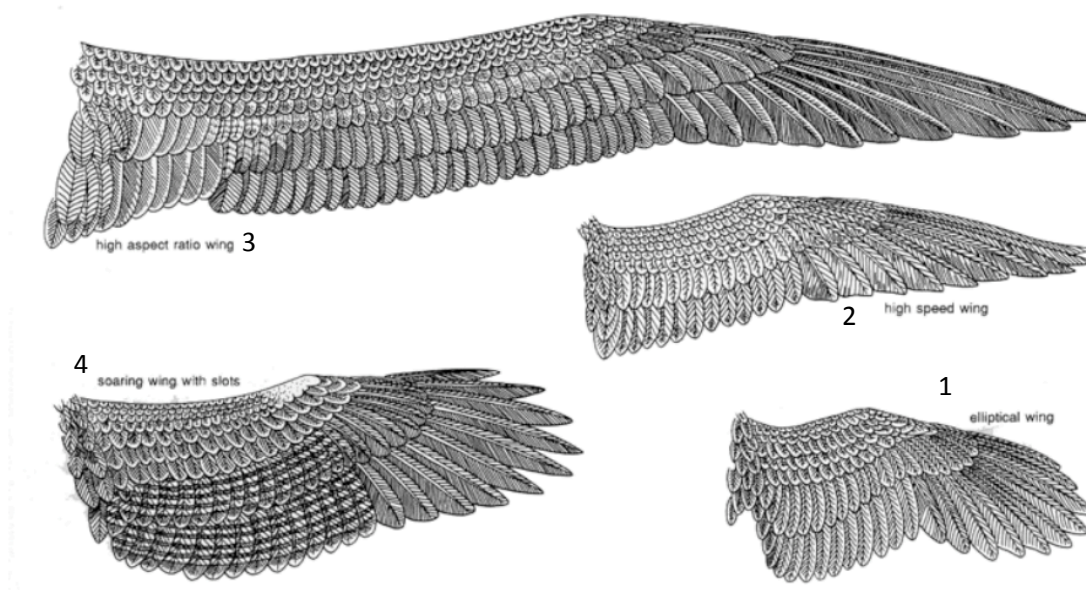
Itxura-ratioak animalaren hegoen formaren berri ematen digu: hego estu eta luzeek ratio altua izango dute, eta hego labur eta zabalek, berriz, ratio baxua. Oro har, ratio baxuko animaliek mantoago egingo dute hegan, baina beren hegakera maniobrabilitate handikoa izango da. Ratio altukoek, aldiz, azkarrago egingo dute hegan, baina maniobrabilitatea baxuagoa izango da.

Bestalde, hego-zamak animaliak hegan egiteko beharko duen abiadura ere baldintzatuko du, eta beraz, baita hegakera ere. Hego-zama handia izateak hegan egiteko abiadura handiagoan ibili behar izatea ekarriko du, aldiz, hego-zama txikia izateak abiadura txikiagoan jardutea ahalbidetuko du. Hego-zama handiak sor ditzakeen arazoak leundu daitezke abiadura handi batekin. Hego-zama handiko animaliek airean mantentzeko altxatze indar handia sortu behar dute eta prozesu horretan abiadura handiak lagundu dezake.

Hegazti handiek, proportzionalki, hegal handiagoak beharko dituzte hegan egiteko hegazti txikiek baino, gorputzaren bolumena (eta pisua) kubikoki hazten baita, eta hegala azalera, berriz, kuadratikoki. Arrazoi beragatik, hegazti handiek azkarrago egin beharko dute hegan txikiek baino airean mantendu ahal izateko, eta ondorioz, zailtasun handiagoak izaten dituzte lurreratzean eta aireratzean.

Aipatutako ezaugarri ekomorfologikoak direla eta lau hegala-eredu bereizten dira:

1. Hego eliptikoak: Mutur biribiltsua izaten dute, eta itxura-ratio baxua; honek maniobrabilitate handia eskaintzen die espazio itxi edo korapilatsuetan mugitzeko. Maiztasun handiko hegala kolpeak baimentzen dituzte.
2. Abiadura handiko hegala: Normalean laburrak eta zorrotzak izaten dira, eta beraz, itxura-ratio handikoak izaten dira, hego-zama handia izaten dute, eta gehienetan maiztasun handiko hegala-kolpeak behar izaten dituzte hegan egiteko. Honelako hegala dauzkatenek abiadura handia eta azkar lortzen dute, baina energia asko erretzearen ordainetan.
3. Itxura-ratio handiko hegala: nabarmen luzeagoak izaten dira zabalak baino eta hego-zama baxua izaten dute normalean. Hegaztiak abiadura txikian hegan egitea baimenduko du honek, eta batzuetan baita orekan egotea ere, abiadura zero dela, eta energia-kontsumoa minimoetara murriztuz.
4. Muturretan "hatzak" dauzkaten hego planeatzaileak: Hego luze, zabala eta laukizuzen-antzekoak izaten dira, muturretako luma primarioak hatzak bailiran zabaldua eramanez, hego muturretan turbulentziak sortzea eragozten dutenak. Airean gora egiteko eguzkiak lurra berotzen duenean sortzen diren korrante termiko handien bultzadaz baliatzen dira. Normalean itxura-ratio baxuko hegala izaten dira, eta hego-zama handiko hegaztiak erabili ohi dituzte. Ez dute horrenbesteko abiadurarik lortzen, baina energia-kontsumoa baxua izaten da.



Makina bat hegazti lehortar eta urtarrek (ostruek, pingüinoek, kiwiek, emuek, kasuarioek...) galdu egin dute hegan egiteko ahalmena. Horrek sekulako energia aurrezpena dakar.

Lurrean ibilian aritzeko gaitasuna izugarri aldatzen da forma korrikalarietatik hasi, eta bizimodu ia erabat airetarra (edo urtarra) egitearen ondorioz beren pisuari lurrean eusteko gaitasuna ere ia erabat galdu duten formetara (sorbeltzak adibidez). Korrikarako moldatutako hegaztiek zango luze eta muskulu sendoz jantziak izaten dituzte, eta eskualde tartsala bereziki indartua. Hatzak laburtzeko joera izaten da, eta hauetan atzazalak labur eta sendoak dira. Zenbaitetan atzeko hatza galdu egiten da. Ostruketan barnealdeko hatza ere galdu egin da, lasterka egiten duenean erdiko hatza zenean ezartzen du ia pisu guztia.

Hegaztien atzeko soinadarren paraera 3 behatz aurrera begira eta laugarrena atzera begira da. Horri esker, adarretan lotu daitezke. Txoritxoak talde arrakastatsuenak dira, hauek moldapen handiena dute adarretan lotzeko. Beste espezie batzuetan, okiletan adibidez, 2 behatz aurrera eta beste 2 atzera dituzte kokatuta. Horrek estabilitate askoz handiagoa ematen die enborrean kokatzeko.

Lehorrean bestelako moldapenak ere agertzen dira, adibidez oinaren parte distalenean ez dira lumarik agertzen, eta lumen ordez, ezkatak agertzen dira. Hori baldintza termiko oso berezietan (hotzetan) bizi diren animalietan gertatzen da. Leku beroetan bizi diren animalietan, lumak hatzamarretaraino heltzen dira, isolamendua aregotuz.

Animalia zenbat eta ibiltariagoa izan (eta hegalaria gutxiago izan), aerobikoagoa izango da, eta beraz, mukulatura (okela) ilunagoa izango du.

Espezie askok itsasorako nahiz ur gezarako moldaerak dituzte. Hegaztiek igeri egiten dutenean, oinak erabili ohi dituzte gorputza aurrerantz bultzatzeko. Horretarako moldaera bereziak ageri dira, hala nola, mintz interdigitalak (ahate eta kaiotetan adibidez). Bestetan, atzeko hatzak ere biltzen dituen mintz gehigarria duten oin totipalmatuak agertzen dira (pelikanoetan esaterako). Eta beste batzuetan, berriz, lobulu xaflakara bereziak garatu dira hatzen alboetan (murgil eta kopetazurietan adibidez). Igeriketan etekina hobetzeko, hegazti urtarren hankak gorputz-enborrean oso atzean giltzatzen dira, grabitate zentrutik atzerago. Hanka atzeratu horiek motore bezala funtzionatzen dute propulsiarako, animalia oso hidrodinamikoa bihurtuz. Horrek hainbat zailtasun eta desoreka ekartzen dizkie lehorrean ibili behar dutenean. Beste zenbait hegaztik (pinguinoek adibidez), urpean murgiltzen direnean, hegala erabiltzen dituzte (hankak erabili beharrean) igerian egiteko.



Lumen txukuntze prozesuan, hegaztiek isatsean duten guruin uropigialean ekoiztutako jariakin koipetsua mokoan hartu, eta sasoiz igurtzen dituzte lumak, jariakina lumaje osoan zehar zabalduz. Guruin uropigialeko jariakin hau lagungarria da lumak garbitzeko, babesteko... eta garrantzitsua da igerian ibiltzen diren hegazti urtarrentzat, lumak bustitzea galarazten baitu. Uso, loro eta okilek ez dute guruin uropigialik. Hegazti murgilariak pisu handiagoa dute eta flotagarritasunak eragindako goranzko bultzada murriztearren hezurak ez dituzte hain pneumatikoak izaten.

Zenbaitetan, ubarroietan esaterako, estalpen-lumen artean bizar-zurda bereziak izaten dituzte, urari sartzen utzi eta lumajea bustitzeko. Horrela, flotagarritasuna murrizten dute eta hobeto murgil daitezke uretan.

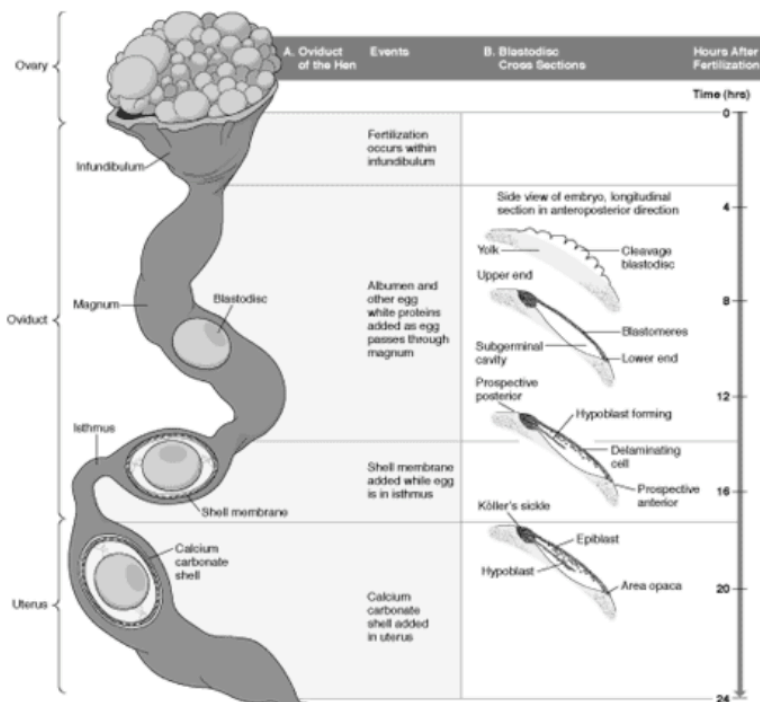
UGALKETA

Hegaztiak obiparoak dira eta arrautza kleidoikoak garatzen dituzte. Ez dirudi bateragarria denik enbrioia amaren barnean eramatea eta bizimodu hegalaria egitea, honek lekarkeen pisu gehigarria tarteko. Aldiz, arrautza bakoitza garatu orduko habian utzi ahal izatea abantaila garbia da bizimodu hegalarirako. Hegan egiten ez duten hegaztiekin orduan zergatik ez dute bibiparotasuna garatu? Batzuen ustez, hegaztiekin ez dute bibiparotasuna garatu endotermoak direlako eta beraien tenperaturaren bitartez arrautzaren tenperatura kontrolatu ahal dutelako.



Hegaztiak dioikoak dira ia denak. Hegazti guztietan barne ernalketa garatzen bada ere, talde gehienetan estalketa edo parekatzea arraren kloaka emearenarekin kontaktuan jarritz bideratzen da, eta ez da zakilik izaten, estalketan lagungarri gerta daitekeen kloakaren irtengune xume bat baino. Zenbait espezieetan, berriz, kloaka osatzen duen proktodeoaren alde bentralak zakil antzeko luzamendu bat eratzen du, erabateko kopulak gauzatzeko erabiltzen dena.

Hegazti gehienetan emeek ezkerreko obarioa soilik garatzen dute, eta eskuinekoa endekatu egiten da, hau ere hegan egitearekin lotutako moldaera gisa ulertzen delarik. Baina badira zenbait espezie (kiwiak...) bi obario funtzional mantentzen dituztenak.



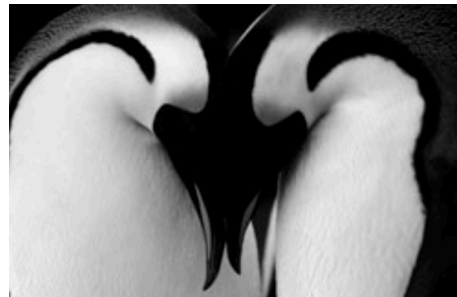
Obarioa garapen-maila desberdinetako folikuluz osatutako arrosario moduko egitura izaten da, guztira milaka folikuluz osatuta egon daitekeena, nahiz eta hauetariko gutxi batzuk baino ez diren obulu izatera iritsiko. Folikulu batetik obulua garatzen denean hau biteloz hornitzen da, eta infundibulua izeneko inbutuak bilduta, obiduktuan barrena abiatzen da. Ernalketa epe horretan gertatzen da, arrautzari estalki berriak gehitu ahala ezinezkoa izango baitzaie espermatozoideei hauek gaingitzea. Infundibuluaren ostean, arrautza obiduktuko eskualde

guruintsura (magnum) sartzen da, eta bertan zuringo edo albumena jariatzen da. Segidan, istmoa izeneko estugunea zeharkatzean oskolaren mintz keratinatsu bi jariatzen dira eta arrautza osoa biltzen dute. Arrautzaren garapenaren azken urratsa, oskol mineralizatuaren garapena, uteroan gertatzen da. Kaltzio karbonato, fosfato eta magnesio mineralen kokapena ez da nolanahikoa, makina bat poro mantentzea derrigorrezkoa baita enbrioia arnasketa bermatzeko. Azkenik, arrautzaren kolorazioa osatuko duten pigmentuak (porfirinak eta zianinak) ere uteroan bertan jariatzen dira. Habia zulotan

egiten denean zuria izaten da, hauek ez baitute arrautza arriskutatik ezkutatu beharrik izaten. Aldiz, espazio zabaletan eta babesik gabe txitatzen diren lekuetan arrautzen kolorarioa kriptikoa izaten da, harrapakariek aurki ez dezaten.

Hegaztien arrautzak handiak izaten dira. Hegazti handiek proportzionalki arrautza txikiagoak egiten dituzte hegazti txikiek baino, normalean. Era berean, arrautzaren tamainak zerikusia du txitaren estrategia etoekologikoarekin, bai eta txitaldiko arrautza kopuruarekin ere. Honela, oro har txita nidifugoek (jaio eta berehala ihes egiten dutenek) arrautza handiagoak izaten dituzte txita nidikolek baino. Txita nidifugoek garapen-maila handiagoa behar dute jaio eta berehala habiatik joateko, eta honek bitelo gehiagoz hornitutako arrautzak eskatzen ditu; txita nidikolak, aldiz, garapen txikiagoz jaio daitezke, bitelo gutxiago duten arrautzetatik, eta haien gurasoak arduratuko dira hurrengo egunetan garapen hori osatzeko beharrezko bazka lortzeaz. Hegaztietan sexu heterogametikoa emea (ZW) da eta sexu homogametikoa arra (ZZ).

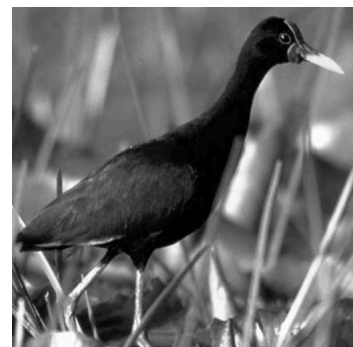
Hegaztien artean espezie gehienak monogamoak izaten dira eta bikote iraunkorrak antolatzen dituzte txitaldiak iraun artean. Hegazti monogamoetan, normalean, habia aurrera ateratzea bikoteko kide bien lana izaten da, nahiz eta lan banaketa desberdinak gerta daitezkeen.



Poligamia urriagoa izaten da hegaztietan, eta gertatzen denetan poliginiaz izaten da maizen. Horrelako eredua emeak habia bere kabuz ateratzeko adinako aberastasuna eskaintzen duten inguruneetan gertatzen da gehienbat, eta aldiberekoa edo hurrenez hurreneko poliginia izan daiteke. Aldibereko poliginian arrak lurralde zabal eta nahikoa aberatsa defentsatzen du, eta eme bat baino gehiago izaten ditu bertan habia egiten. Horrelakoetan arrak laguntza eman dezake edo ez habia aurrera ateratzeko. Beste zenbait espezieetan berriz, arrek habia bat baino gehiago egiten

dituzte eme ezberdinekin, baina ez aldi berean, hurrenez hurrenean baizik.

Poliandria, eme bakarrak zenbait arrekin parekatu eta gero arrautza eta txiten zaintzaren ardura arren gain uzten duen eredua, berriz, minoritarioa izaten da hegaztietan. Hauetan, txito eta arrautzen bidegarritasuna oso baxua da. Eme batek bi ar eduki dezake laguntzen, hirukoteak sortuz (ugatzaren kasua esaterako). Baliabideak ugariak izaten dira poligamian, bestela monopolizatzea ez da errentagarria izaten bi sexuentzako.



Beste eredu bat eme asko ar askorekin parekatzea da. Azkenik, beste parekatze eredu bat bikotetik kanpoko kopula da (monogamian eta poligamian). Horrela emeak dibertsifikatu egiten ditu bere arrautzak, eta arrak bere informazioa sakabanatzen du.

Habiaren betebeharrak nagusiak arrautzak eta txitak predatzaileetatik babestea eta arrautzaren garapenerako baldintza mikroklimatiko egokiak mantentzea dira. Bi helburu hauek lortzeko bide eta eredu desberdinak garatu dituzte hegaztiak, bai habiaren kokapenari dagokionez, bai eta beronen eraikuntzari eta egiturari dagokionez ere. Badira habia xumeak, edo egitura konplexuak oso, ontzi itxurako habia irekiak, edota gainetik ere itxitako egiturak, irteera bat edo bi ere izan ditzaketenak...



Makina bat hegazti trogloditak direla esaten da, eta zuloetan egiten dituzte habiak. Habia zuloan egiteak abantaila asko ditu, bereziki predatzaileengandik babesteko. Bestalde, zuloan habia babestuago dago fenomeno meteorologikoen eraginetatik. Baldintza hauetan, bai arrautzaren garapena, bai txiten hazkundea gehiago luza daitezke denboran. Ondorioz, argi dago habia zuloetan egiten duten hegaztiak erraztasun gehiago izaten dutela beren txitak hazteko kanpoan egiten dutenek baino. Zorritzarez, ordea, habia egiteko aproposak diren zuloak ez dira nonahi izaten.

Habia inongo zuloatik at egiten duten hegaztiak askoz ere aukera gehiago dauzkate habia egiteko lekua aukeratzeko. Honelakoetan hegaztiak bestelako estrategiak erabiltzen dituzte harrapakarien presioa saihesteko. Habi hauetan zaintza parentala handiagoa da. Kanpoan egindako habien konplexutasuna oso aldakorra da.



Txitatzeak garapen enbrionarioa kontrolatzea dakar, modu honetan arrautzaren garapena habiaraz daiteke. Arrautzen eta bertatik jaioko diren kumeen txitatzea hegaztien ezaugarri bereizgarria dugu. Txitaldian zehar arrautzak tenperatura konstantean mantendu behar dira. Horretarako, txitatze-aldiak eta atsedenaldiak tartekatzen dira. Eskualde hotzetan txitatze-aldiak luzeagoak dira. Txitatze-aldia zaintza parentalaren arabera laburtu edo luzatu daiteke. Arrautzak lekuz aldatzen eta biratzen dira habian, erdialdea beroagoa delako, eta mintz estraenbrionarioak oskolari ez itsasteko.

Txitatze lan hauetarako moldaera gisa, hegaztiak inkubazio-plakak dauzkate sabelean, hau da, sasoirako garatzen diren lumarik gabeko eta oso baskularizatutako eskualdeak. Baina espezie batzuek ez dute horrelakorik izaten eta bestela konpontzen dira txitatzeko, ahateek adibidez mokoz banatzen dituzte lumak, eta pinguinoek hanken eta sabelaren artean hartuta txitatzen dituzte arrautzak.

Sarritan txitatzea azken arrautza errun orduko hasten da, eta honela arrautza guztien garapena eta txiten jaiotza aldiberekoak izaten dira. Hau bereziki garrantzitsua da txita nidifugoentzat, txita guztiek batera habia uztea baimentzen baitu. Txita nidikoetan ere abantailatsua da txita guztien garapena sinkronizatzea baimentzen duen heinean, eta honela kume gazteenak edo txikienak besteekin lehian gosez hiltzea saihestean da. Edonola, zenbait hegaztietan txitatzea lehen arrautzarekin hasten da, eta txiten jaiotza ez da sinkronikoa izaten (lertxun eta ontzetan kasu). Bazka asko dagoenean arrautza asko egiten dituzte eta denak aterako dira aurrera, eta gutxi dagoenean berriz, arrautza gutxi egingo dituzte, txita gazteena hil egingo da eta batzuetan besteek jango dute.

Austrialiako megapodoetan txitatzea ez dute helduek zuzenean egiten. Aitzitik, gurasoek deskonposatzen ari diren hondakin begetaletan lurperatzen dituzte arrautzak, eta hauek bertako hartziduretatik sortutako beroaz txitatzen dira.

Arrautzatik irtetzen laguntzeko, txitak egitura berri bi garatzen ditu, moko-hortza, mokoaren goiko aldeko muturrean garatzen den mutur korneo zorrotza; eta garondoan dagoen *musculus complexus* edo eklosio-muskulua, buruari gorantz tira eta moko-hortzaz oskola apurtzen lagunduko diona. Txitaldiaren azken fasean arrautzaren mutur kamutsean nahikoa bolumen handia betetzen duen aire-ganbara zulatzen du lehenik txitak. Ondoren, oskola bera zulatuko du eta bertatik mokoa kanporatuta airea arnasteari ekiten dio. Txitak oskola apurtu aurretik ikasiko du arnasten. Txitak oskola apurtzeari ekiten dio pixkanaka.



Txitek jaiotzean duten garapen-maila eta bilakaerari dagokionez, bi joera nagusi bereizten dira hegaztietan. Txita prekozialak dauzkaten hegaztietan (ahateak, oiloak, ostrukak...), txiten zerebroa eta hankak oso garatuta daude jaiotzen direnean, gorputza lumatxoaz estalita izaten dute, bazka beren kabuz bilatzeko gai izaten dira... Txita altrizialak dauzkaten hegaztietan (usoak, okilak...), berriz, txitak erabat biluzik jaiotzen dira, mugitzeko ere gauza ez direla. Hauek zaintza parentala behar dute, gurasoek bazkatu ezean ez dute bizirauteko inolako aukerarik izango.

Txita prekozialen arrautzek, beraz, bitelo kantitate handiagoa izaten dute txita altrizialek baino. Bestalde, txita altrizialak nidikolak izan ohi dira, eta animaliez elikatzen dira batez ere. Txita prekozialak, berriz, nidifugoak izaten dira eta beren kabuz bil ditzaketen material begetalez bazkatzen dira gehienetan.