

A TOJÁSHÉJ MAKRO- ÉS MIKROSTRUKTÚRÁJÁNAK FUNKCIÓI A KÖLTÉS FOLYAMÁN

Jakab Béla

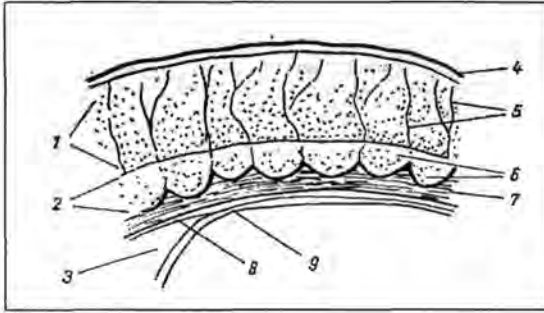
A megtermékenyült és megtojt madártojás olyan életfenntartó rendszer, amely magába zártan tartalmazza a már gasztrula stádiumában levő, két csiralemezzel rendelkező és a megfelelő feltételek mellett továbbfejlődésre kész csirakorong-embriókezdeményt. Tartalmazza továbbá mindazon anyagokat (szénhidrátot, fehérjéket, energiaforrást jelentő zsírt, vizet, ásványi anyagokat), melyek az embrió fejlődéséhez a kikelésig szükségesek, kivéve az anyagcsere mechanizmusát működtető oxigént.

Ismert, hogy az embrió továbbfejlődésének feltételei között több olyan külső funkcionális tényezőre is szükség van, amit a kotló madár biztosít. Így szükség van 34-39 °C, átlagban 35,6 °C melegre. Ezt szolgálják a legtöbb fajnál a költés időszakában keletkezett, csupasz bőrfelületű, bőven erezett ún. kotlófoltok. Továbbá fontos tevékenységet tölt be a kotlós a fészek megfelelő páratartalmának szinten tartásában, a tojások oxigén-ellátásában és a fejlődési rendellenességek elkerülésében is azáltal, hogy rendszeres időközönként megforgatja a tojásokat, néha le is száll a fészekről, miközben biztosítja a szükséges meleg, páratartalom, oxigénhez jutás egyenletességét.

E külső tényezők funkcióinak folyamatában mindenképpen felmerül a tojáshéj feladat- és szerepkörének a kérdése is. Amikor e kérdésre való tekintettel a továbbiakban túlsúlyban a tojáshéj struktúrájára figyelve vizsgáljuk az eredményes költés feltételeinek összetevőit, rácsodálkozva láthatjuk, hogy mily sok és sokoldalú szerepet tölt be a tojáshéj is e téren.

A tojáshéj szerkezete

A héj keresztmetszetén első rátekintésre szembeűnő a réteges szerkezete (1. ábra). Rétegei, a tojás sárgáját (szik a rajta fekvő csirakoronggal) már körülvevő fehérjerétegekhez hasonlóan, a petevezető egy-egy szakaszának mirigyváladékai-ból képződnek. A petevezetőnek a fehérjekiválasztó része után beszűkülő szakaszán, az iztmuszban (szoros) termelt váladék megmeredésével jönnek létre a kettős héjhártya rétegei. A következő szakasz, az izmos tojástartó v. madárméh (uterus) mézszókat tartalmazó váladékából alakul ki kristályosodással a kemény mészburok. Színes tojások esetén az alapszínt és a foltozottságok, rajzolatok nagy



1. szivacsos réteg
2. mamilláriás réteg
3. légkamra
4. kutikula
5. póruscsatornák
6. mamillák
7. szemcsés hártya
8. héjhártya
9. fehérjehártya

1. ábra A tojás szerkezete (Orel és Prynne nyomán)

változatosságát csak két festőanyag különböző összetételű színváltozatai alakítják ki, melyek lerakódhatnak alsó v. felső rétegeire. A petevezető végső, a kloakába nyíló szakasza az izmos hüvely. Mirigyei rendkívül sok nyálkát választanak ki, ami megkönnyíti a tojás lerakását. A madarak egy részénél a tojás lerakásakor a héjat bevonó nyálkaréteg beszáradásával képződik a felszint borító nyálkahártya, a kutikula anyaga.

A héjrétegek struktúráit illetően a legegyszerűbb a kutikuláé. Század- ezred milliméter vastagságú, rugalmas, fényes hártya. A meszeshéjhoz tapadva fedőréteget képez. Póruscsatornák nem járnak át, itt a gázcsere ozmózással megy végbe.

A megkülönböztethetőleg két rétegből álló meszeshéjat szerves anyaga mellett naggyobbára a már említett csöves mirigyváladékból képződött mészkristályok alkotják. A tömött, külső kétharmad része ún. szivacsos réteg. Nevét a gyenge savoldatban méasztelenített mikroszkopikus képe után kapta. Szervesen rásimul a belső egyharmadot kitevő ún. mamilláris rétegre, melyet egymás mellett elhelyezkedő, alapjukkal összefüggő oszlopocskák, az ún. mamillák sokasága tesz ki. Az oszlopocskák szabad végződése szemölcsszerűen legömbölyödtek, emlőbimbóra is hasonlítanak, amiről a latin elnevezésüket kapták (1. kép). Tulajdonképpen azok a göcök ezek, amelyekből a héj kialakulása során a kristályosodás megindult (Rahn 1983). A kalcit kristályok illeszkedése a héjban térközöket hagy, melyekből képződnek a héjban átvezető mikroszkopikus csatornákként fontos szerepet töltenek be a költés folyamán a tojás gázcserejében.

A mamillák púposan gömbölyödő végződéseikkel szervesen beleágyazódnak a szemcsés hártyaába, amit ezért matrix réteggnek is neveznek. A szemcsés hárttyát a héj szerves anyagának finom fehérjefonalai alkotják. Ezek a külső felület felé ritkulva átszövik a héjat, a belső felületen pedig egymást hálózatosan keresztezve, pl. a tyúktojás esetében 2 mikron vastagságú hárttyát képeznek. A fonalak közt 30 mikron átmérőjű szemcsék láthatók (Orel 1960). A szemcsés hárttyához szervesen tapad a kettős héjhárttya. Közülük a külső, a tulajdonképpeni héjhárttya rostjai dur-



1. kép Héjgörbület-mérő műszer

vábbak és a felülettel párhuzamosan futnak. A belső, az előbbihez szorosan simuló ún. fehérjehártya finomabb fonalai a felszínre merőleges helyzetűek (Orel 1960). A két hártya a tojás tompa végén egymástól elválva képezi a légkamrát, melynek magassága a frissen lerakott tojásnál még minimális. Rostjaik fő alkotóeleme a keratin. Száraz állapotban törékenyek. Vízen oldhatatlanok, de meglágyulnak, rostjaik nedvességük foka szerint megduzzadnak (Prynne 1963), ami funkcionális jelentőséget nyer a költés folyamán a héj gázáteresztő-képességének szabályozásában. Lágy állapotukban vékonyságuk ellenére is hatásosan növelik a törékeny héj szilárdságát.

A tojáshéj védelmi szerepe

A kutatások eredményei nyomán egyre ismertebb hogy a védelem terén adódó feladatok mily sokoldalúak és hogy a héj strukturális felépíttségénél fogva mily csodálatosan alkalmas e feladatoknak a költésbiológiai szempontokkal összehangolt betöltésére.

A kutikula a költés kezdetéig védi a tojást, zárja a pórusokat káros anyagok (mikrobák, stb.) behatolásától, őrzi szükséges víztartalma fogyatkozásától. A tojások színezettségének, tarkázottságának a környezetbe olvadó sokfélesége a fészek-aljnak ember, állat okozta károsodásokkal szemben hasznos rejtőszíne. (Schmidt 1993).

A kemény meszeshéj védelmű funkciói a héj fizikai, szerkezeti, majd geometriai adottságaival kapcsolatosan magyarázhatók, úgymint a héjvastagság és -

szilárdság, továbbá a tojás alakja, héjhajlata, de minden esetben szemmel tartva a funkciók összhangját meghatározó költésbiológiai szempontokat is.

A héjvastagság méretét a héjrétegek együttvéve adják. A kolibrítól a strucctojásig, 0,05 mm-től 2 mm vastagságig fajoként változó a költésbiológiai feltételektől megszabott határok között:

a/ Hogy elbírja a tojástartalom okozta gravitációs igénybevételt,

b/ hogy elbírja a tojásokat költő madár tömegét, ugyanakkor

c/ hogy a kikelésre érett fióka képes legyen áttörni a héjfalon, amihez a kelésnél tárgyalandó még más tényezők is segítik. Végül,

d/ mivel a héjvastagság meghatározza a póruscatornák hosszát, az adottnál nagyobb vastagság, mondjuk a pórushossz megkétszerezésével megfelel a gázvezető-képesség, a gázátáramlás mértékét. E megszorító feltétel magyarázza, hogy a héjvastagság miért növekszik a tojások fajoként nagyobbodó tömegéhez viszonyítva az egyenes arányánál kisebb mértékben, ti. a tömeg minden tízszeres növekedése mellett a vastagság 2,7-szeresével (Rahn 1983), pl. az ökörszemnél a héjvastagság 0,062 mm, a tojás tömege 1,32 g. az egyiptomi struccnál a héjvastagság 1,92 mm, a tojás tömege 1600 g (8. ábra).

A héj szilárdsága kiegyenlítve a héjvastagság kötöttségeit növeli a védelmet, a mechanikai hatásokkal szemben ellenállóbbá teszi a héjat. Ez köszönhető a héj réteges építettségének, a meszhéj még nem eléggé tanulmányozott meszkristályszerkezetének, a mamilláris réteg boltívszerűen rendezett mamilláinak, továbbá a szilárdságot fokozó szemcsés- és héjhártyáknak és a meszhéjat a felszíne felé átszövő fonalaiknak.

A tojásalak funkciói

A tojásalak szerepében a védelmi és költésbiológiai szempontok még jobban összefonódnak. A tojásalak meghatározói a fajok anatómiai tulajdonságai. Pl. Makatsch (1972) szerint szoros összefüggés van a madár medence csontja és a tojásalak között. Szoros összefüggést tapasztalhatunk a tojásalak és a fajok fészekelési szokásai között is. Ebben az összefüggésben a tojásalak mind védelmi, mind költésbiológiai funkciókat tölt be.

Ismert, hogy a gépi keltetés eredményessége szempontjából technológiailag mily nagy szakértelmet és gondosságot igényel, szükséges hőmérséklet, páratartalom, szellőztetés (oxigénellátás) egyenletességének fenntartása érdekében, a tojások megfelelő forgatása. Ennek időzítése, mértéke jelentős szerepet tölt be a magzatburkok és az embrió fejlődésében, a fejlődési rendellenességek elkerülésében. Természetes körülmények között a technológia főszereplője a költő madár!

A tojások alakjától függ: egyrészt a keléshez szükséges meleg és páratartalom egyenletessége érdekében a tojások megfelelő térkitöltése, befedhetősége, másrészt az egyenletes fejlődés és a szellőztetés érdekében a tojások forgathatósága,

gördíthetősége, pördíthetősége, és pedig oly kis erővel, amely a tojást nem töri össze. E szempontok figyelembe vételével mutatnak rá a tojásalak és a fészkelési szokások összefüggésére Eröss (1983) kinetikailag is megalapozott megállapításai.

A madártojások alakjának általában három fő típusát különböztethetjük meg, mint vizsgálati modellt: az ellipszoid, az ovális és a játéksiga alakot (2. ábra). Mindegyik lehet rövid, közepes, nyúlt. E típusoknak a fészkekben a tojás mechanizmusát illetően konkrét funkciójuk van. (Eröss 1983, Hoehner 1972, Makasch 1967).

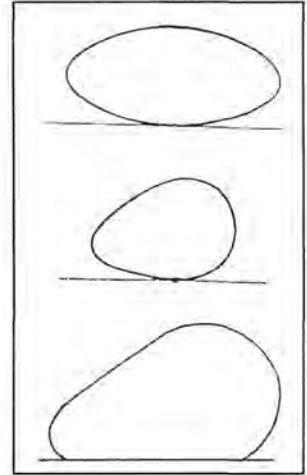
Az ellipszoid alakú tojásokat kis erő is könnyen gördíti, pördíti. Ez előny pl. a vöcsökfélék rothadó növényi anyagokból épített fészkei esetében. Ezeknél nagyok a súrlódási erők, amit az ellipszoid alak ellensúlyoz.

Az ovális tojásokat tojó madarak odúfészkelők, vagy a fészük, fészeküreük csésze alakú. E tojások nyugalmi helyzete szintúgy könnyen megváltoztatható. Elgurulásuk a fészkek jellege miatt kizárt, a tojások mozgásba hozatalukkor a fészkek mélyebb pontja felé törekszenek. Forgathatóságuk könnyű. Általában többmagokkal képeznek fészkeket, amiért még fontosabb a könnyű mozgathatóságuk. Ezt több fajnál elősegíti még a héj finom szemcsézettsége, sima, fénylő felülete, ami a súrlódást csökkenti. Előnye e típusnak a tojások jobb térkitöltése, s ezzel kapcsolatosan könnyebb a befedésük (3. ábra) is.

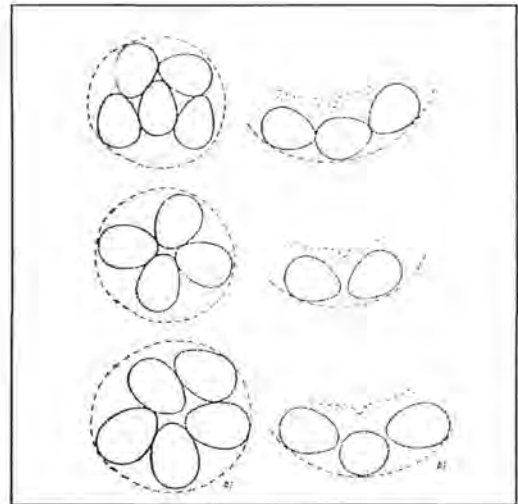
A játéksiga formájú tojások érintkezése az aljzattal nem egy ponton, hanem rövidebb vagy hosszabb érintkezési felületen jön létre. Stabilabbak, elmozdulásuk kicsiny sugarú körben megy végbe. Érthetően gyakori e típus a sík felszínen, párkányokon fészkelő fajoknál. A lapos felszínen optimális a térkitöltésük, befedhetőségük és a forgathatóságuk (4. ábra).

Az alak és a fészkelési szokások fajonként kialakult összefüggése a tojásalak és -szín számtalan változatát hozta létre. Makatsch megállapítása: „Ahány madár, annyi tojás”. Az alak jellemzésére a kutatók mutatószámokat használnak: A hossz- és szélességi (rövid) tengely mérete, a kettő hányadosa (ún. profilindex), az excentricitás mértéke, valamint az egyes héjszakaszok, héjrészek görbületi foka, stb. Egyre szaporodnak a tojás geometriáját vizsgáló biometriai munkák (Schönwetter 1985, Gutmann 1989, Nagy 1994, Wunderlich 1979, Jakab 1962). A héjrészek görbületi fokának finomabb, műszeres mérésével az egyéb jegyek alapján elkülöníthetetlen tojások faji hovatartozását is behatárolhatjuk (Jakab 1963, 1965, 1964.a, 1983, Jakab-Tamássy 1969). (2. kép)

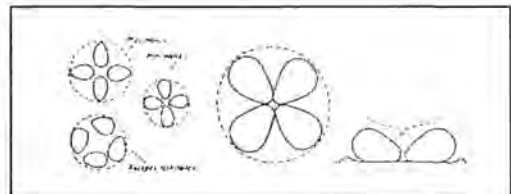
A tojásalak költésbiológiai funkciói közt megemlítendő még az alak összefüggése a kelési eredménnyel. A háziasszonyok gyakorlott szemmel válogatják ki a kottlós alá, a tojásalakra is figyelmet fordítva, a keltetéshez legalkalmasabbnak tartott tojásokat. Figyelem irányul rá a mesterséges keltésnél is (Kiss 1973). Ezt az összefüggést a fent említett műszeres mérésekkel tyúktojásokon (hampshire fajtán) végzett kísérleti sorozatokkal is sikerült igazolni (Jakab-Tamássy 1968, 1969, Jakab 1983). A legszorosabb, legegyszerűbb volt ez az összefüggés a tompa vég



2. ábra A tojásalak három fő típusa, mint vizsgálati modell: az ellipszoid, az ovális és a játéksíga alakok profilrajzai



3. ábra Ovális tojások térkitöltése (a), fedhetősége (b) csésze alakú fészekben



4. ábra Játéksíga alakú tojások térkitöltése és fedhetősége sík felületen költő fajoknál (Eröss után)

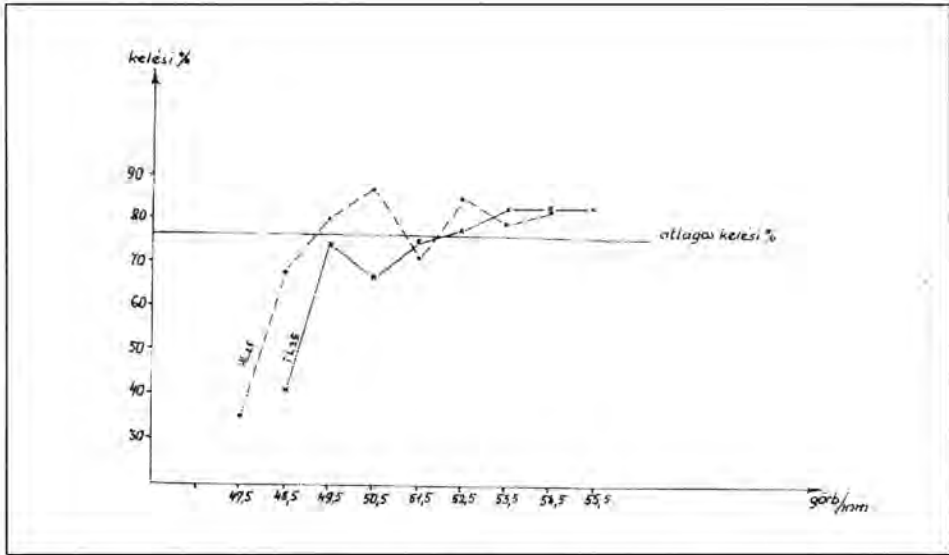
felé ívelő héjszakaszon, mely bizonyos görbületi értékhatár fölött a kelés átlagon felüli eredményét mutatta (5. ábra). Valószínű, hogy a madaraknál a fajra legjellemzőbb tojásalak szolgálja optimálisan a kelési eredményt.

A héj funkciói a tojás légzésében

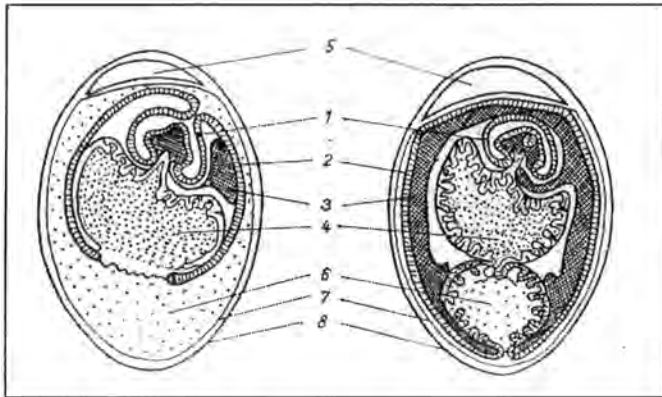
A költés kezdetével a külső páratartalom megnövekszik. Ennek következtében a beszáradt kutikula nedvességet szív magába, kocsonyaszerűvé válik és a pórusokat szabaddá teszi. A meginduló gázcseré folytán tojásból elpárolog a feleslegessé vált víz, miközben a héjhártyák ultraszűrőinek átteresztőképessége mintegy megtízszereződik. Ez elengedhetetlen a további fejlődéshez, melynél az egyre bonyolultabb anyagcsere-folyamatokat működtető oxigénre a külső környezetből növekvő mértékben szükség van.

Az embrió a költés első napjaiban, amikor oxigénigénye még kicsi, a fejlődéshez előbb a szikből nyeri az oxigént, majd a másodiktól az 5-6. napig a sziktömlő edényezett mezője biztosítja a légzést. Közben megindul a harmadik magzatburok, az allantoisz fejlődése is, amely egyéb funkciói mellett a költés prenatális szakaszában az embrió egyedüli légzőszervéül szolgál (6. ábra). A házityúknál a költés harmadik napján kettős fallal (ekto-, mesoderma) türemkedik ki nyélszerűen a bél végső részének falából és tömlőszerűen addig növekszik, míg a 12-dik napra ki nem tölti az extraembrionális üreget úgy, hogy külső falával ráfekszik a már korábban kifejlődött és a héjhártyával összenőtt korion (savósburók) belső felületére, s vele egyesülten, mint allantokorion ilyenformán bevonja a tojáshéj belső felületét, kivéve a tojás tompa végén a légkamra közbejöttével a héjnak később sapka (héjsapka) résznek nevezett régióját (6. ábra). Fejlődése kezdetétől két artéria is nő bele, melyek hajszálerekre oszolva az allantoisznak a hártákkal szomszédos falában sűrű hálózatot alkotnak. A belőlük elfolyó vér vénákba gyűlik össze. A létrejött magzati vérkeringés és a külső légkör között a pórusok gázvezetésével már 6-dik naptól megindul a ún. allantoisz légzés és az allantoisz teljes kifejlődéséig (12. nap) fokozódó mértékben szolgálja az embrió folytonosan növekvő oxigénigényét (7. ábra).

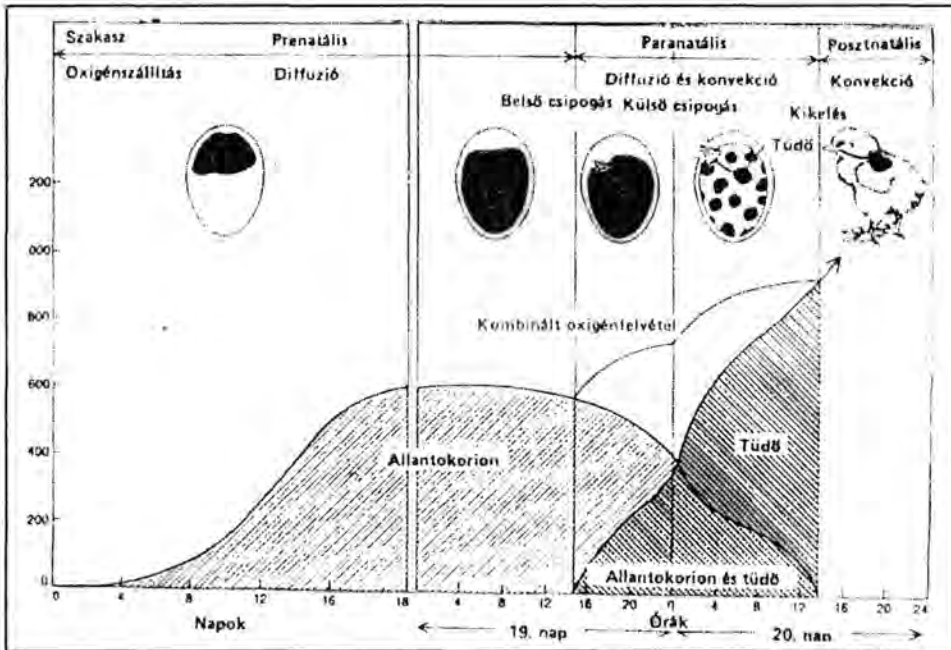
Az allantoisz-, illetőleg diffúziós légzés alapja, hogy a gáz a nagyobb koncentrációjú, nagyobb nyomású zónából a kisebb felé áramlik. Az oxigén koncentráció a környezeti levegőben, a széndioxid és a vízgőz (a pára) koncentrációja a tojásban nagyobb. A diffúzió folyamata eszerint az oxigént befelé, a széndioxidot és a párákat kifelé áramoltatja. A héj szerepe e diffúziós légzésben, azonfelül, hogy porózusságánál fogva utat biztosít a gázcseré számára, azáltal nyer nagy fontosságot, hogy a gázvezető-képesség (gázkonduktancia) mértékét mind az anyagcsere-szükséglet,



5. ábra Kelési százalék és héjgörfület összefüggése (25 mm átmérőjű sablonnal) a tompa végén (TL25) és a hegyes végén (HL25) New Hampshire tyúktojásnál (Jakab-Tamássy, 1968)



6. ábra A tyúk magzatburkai vázlatosan
 1. amnion, 2. Korion, 3. Allantoisz, 4. Sziktómlő, 5. Légkamra, 6. Fehérje
 7. héjhártya, 8. Héj (Corning nyomán)



7.ábra Az embrió légzőszervei és jelentősen növekvő oxigénfogyasztása a költés során (Rahn után)

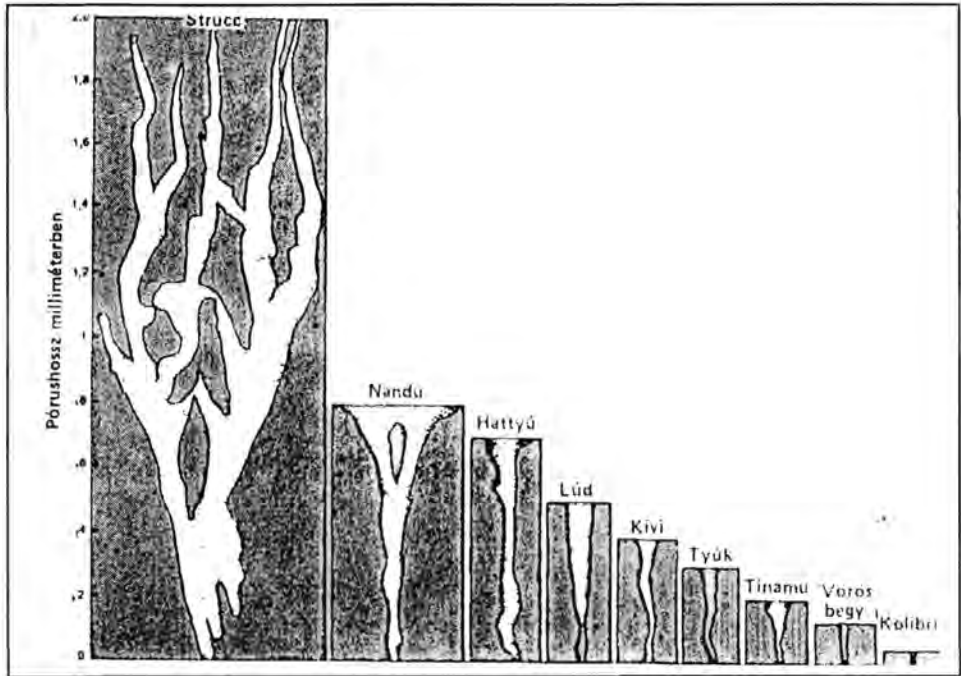
mind a héj két oldalán fönnálló gáznnyomas-különbséggel összhangban, a héj-
struktúra elemei határozzák meg.

A gázcsere útjának külső szakasza a meszhéj póruscsatornái. A pórusok alakja, mérete és száma fajok szerint adott (8. ábra) és topográfiajuk határozza meg a héj diffundációs kapacitását úgy, hogy az megfelel a magzat légzési szükségleteinek. E pórusadottságok viszonylatának arányaival kapcsolatban a kutatók megállapításai a következők:

a/ A tojások méretével együtt növekszik a tojás gázvezető-képessége, de a növekedés mértéke nem egyenesen arányos a tojás tömegével. A tojás tömegének minden tízszeres növekedésével csak 6,5- szörösével növekszik az oxigénkonduktancia. (9. ábra).

b/ A tojástömeg minden tízszeres növekedésével a pórusok hossza 2,7-szeresen növekszik, ami mint említettük egyúttal a héjvastagságnak is függvénye.

c/ Fick törvénye szerint a pórusok összfelülete egyenesen arányos a gázkonduktancia és a pórushossz szorzatával ($6,5 \times 2,7$). Ennélfogva a tömeg minden tízszeres növekedésével kb. 18-szorosával növekszik a pórusfelület, pl. egy 600 g-os nandutojás, melynek héja kb. háromszor vastagabb a 60 g-os tyúktojásénál, kb. 18-szor nagyobb pórusfelülettel rendelkezik.

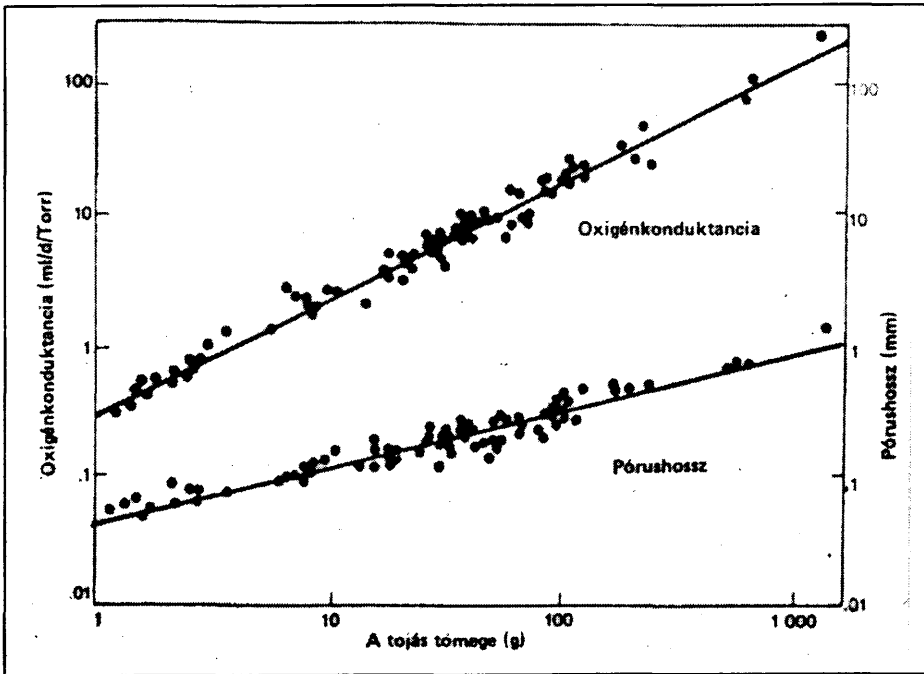


8. ábra A pórusok formája a tojás nagyságának növekedésével változik (Rahn után)

Még összetettebbé teszi és bizonyos kompromisszumra is kényszeríti a héjszerkezeti elemek szerepét a gázkonduktancia mértékének meghatározásában a folyamatos vízgőz veszteség szükségességének szabályozása a költés folyamán.

A tojásnak ugyanis van egy relatív víztartalma, amit a költés folyamán végig megtart úgy, hogy e víztartalom kikeléskor is egyenlő a költés kezdetével. Ugyanakkor az embrió fejlődéséhez szükséges energia zömét a tojássárgájában elraktározott zsír szolgáltatja. A zsírelégetés során az elégett zsírral csaknem egyenlő tömegű metabolikus víz termelődik, ami a kelésig kiteszi a tojás tömegének 15 %-át. Ezt az anyagcsere vizet termelődése folyamatában a tojásnak el kell veszítenie az embrió sikeres fejlődése és kelése érdekében. Mivel a héj merev, a vízvesztés pótlására légköri levegő hatol be a tojásba és naponta növeli a légkamra térfogatát, míg az a költés végén a tojás térfogatának kb. 15 %-át el nem éri. Az így megnövelt légkamrának funkcionális jelentősége van a paranatális szakaszban a csibe tüdőlégzésének megindulásában.

A szükséges vízvesztés sikerét a héjhártyák rostjainak duzzadási foka szabja meg, minthogy ennek mértéke szerint változik gázáteresztő képességük. Mértéken aluli duzzadás esetén a gáz konduktancia túlságosan nagyfokú, az embrió oxigén



9. ábra A pórus hossza és az oxigénvezető-képesség a tojás tömegének nagyobbodásával lineárisan növekszik. A pontok a vizsgált kb. 90 fajra vonatkoznak (Rahn után)

szükséglete ugyan bőségesen kielégítődik, de a vízvesztés túlságosan nagy lesz, s következménye a dehidratálódás, kiszáradás.

Mértéken felüli duzzadtságnál pedig a gázvezető-képesség túlságosan kicsiny: az embrió vagy megfullad oxigénhiány következtében, vagy a maga által termelt széndioxiddal mérgeződik meg, avagy saját anyagcsere vizébe fullad. Hogy a tojás meghatározott vízvesztést valósítson meg, annak feltétele, hogy a tojás friss legyen, mert csak a friss tojás hátyája biztosítja megbízhatóan a költés folyamán megkívánt gázcserét, ezenkívül szükség van olyan megfelelő közegre, amely e folyamathoz optimális gáznyomásról „gondoskodik”. A hátyarostok megfelelő duzzadtságának feltétele az átlagos 35,6 C költési hőmérsékleten a külső és belső páratartalom (páryanomás) megfelelő viszonya. A tojáson belüli gázterek főleg vízgőzzel telítettek úgy, hogy a legtöbb faj esetében ezen átlagos költési hőmérsékleten a tojás belsejében 44 Torr a gőznyomás. Ahhoz, hogy a tojás csak a szükséges vízmennyiséget veszítse el, de azt elveszítse, a madárfészkek mikroklímájában 45 % relatív páratartalommal ekvivalens kb. 15 Torr értéken kell tartani a páryanomást. E páratartalomszint, illetőleg nyomáskülönbség úgy tartható fenn, ha a fészket a költés folyamán szárazabb légköri levegővel periodikusan szellőztetik.

Ennek technológusa a költő madár. Nem tudjuk miként érzékeli a fészek páratartalmát, de viselkedésével szabályozni tudja azt. Ebben domborodik ki a kotlós két feladata: optimális hőmérsékletet biztosítani a tojásnak és szoros tűrési határok közt tartani a fészkek levegőjének a páratartalmát. (Rahn 1983).

A tojáshéj anyagaival részt vesz a magzat fejlődésében

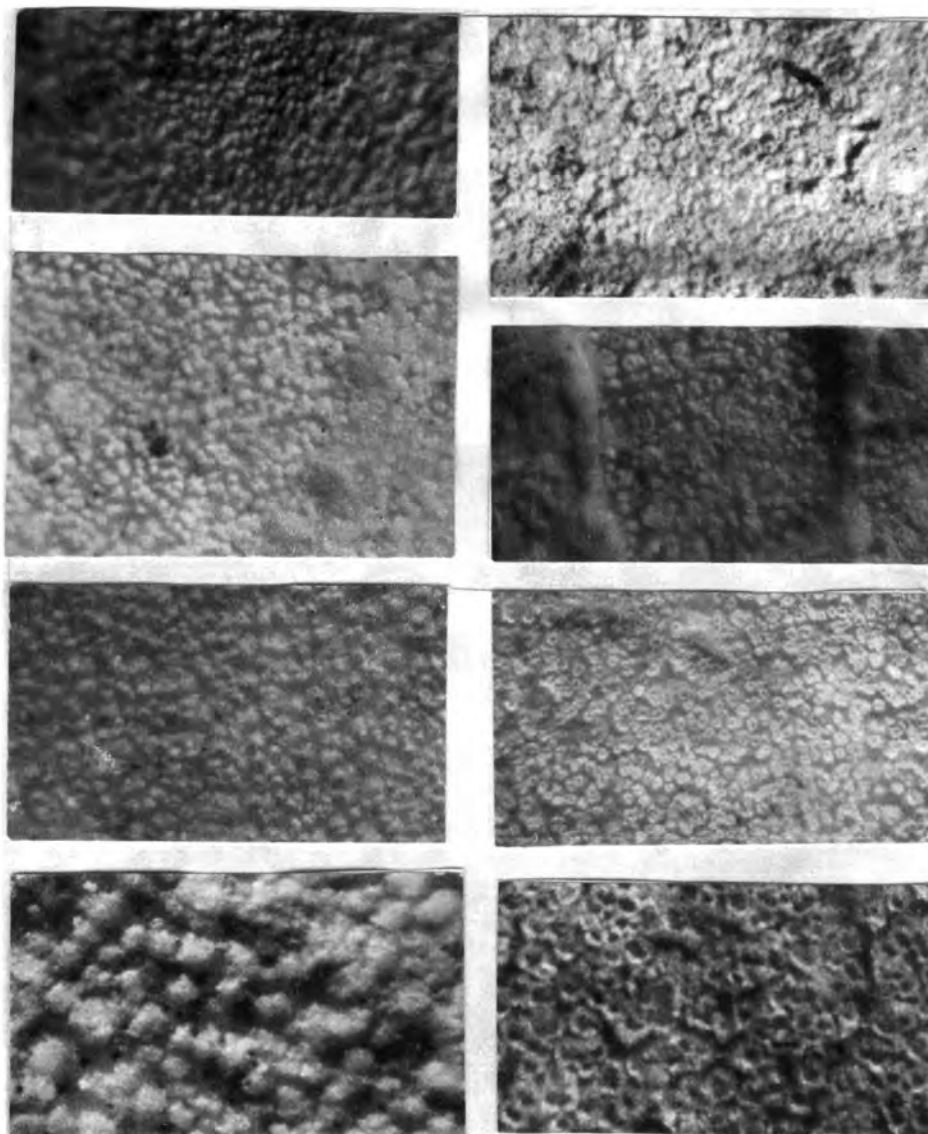
Tangl (1908) kimutatta dolgozatában és a mai szerzők is állítják, hogy a tojáshéj mind szerves, mind szervetlen anyagaival részt vesz a magzat fejlődésében. Ez a Ca tartalom esetében közel 50 %-os (Kiss 1973). Kovács-Fehér fejlődéstana (1966) említi az allantoisz funkciói közt, hogy reszorbeáló szerv is, de csak a tojásfehérje felszívásával kapcsolatban jegyzik ezt meg.

A mikrostrukturális héjvizsgálatok nyomán (Schwarz 1957, 1959, 1960, Schönwetter 1960, Jakab 1974.b) állíthatjuk, hogy a Ca reszorbeálása a héjból az allantoisznak köszönhető. A „hogyan” maradéktalan megválaszolása még vár magára, bár Tangl (1908) már közli e kérdést megválaszoló feltételezéseit. A költés után, miután a beszáradt és fellazult hártýakomplexumot eltávolítottuk a héj belső feléről, binokuláris mikroszkóppal vizsgálva azt, jól megkülönböztethetők a mamilláris rétegnek a légkamra régióban (ún. héjsapka) épségben maradt mamillái, ugyanakkor a héj allantoiszsal érintkező másik régiójában az anyaghiányt mutató kráteresen reszorbeált mamillák a köztük húzódo reszorbeált árkokkal (2. kép). A reszorbeáció révén a héjnak e két régiója közt létrejött szilárdságkülönbsége a költés paranatális szakaszában további funkcionális jelentőséggel bír a csibe kikelésénél a héj feltörésének megkönnyítésével.

Megjegyzés: A kiköltött tojás héjsapka és reszorbeált héjrégiójának mamillárisréteg-beli különbsége az archaeologia területén is új felismeréshez vezetett: Tudniillik e különbség felismerése a héjleleteken, megdőnti azt az általános vélelményt, hogy a héjlelet minden esetben a teljes egész tojás héjmaradványa. A vizsgált honfoglaláskori és középkori leletek mind kiköltött tojások héjmaradványainak bizonyultak (Jakab 1974.b, 1975, 1978, 1979, László Gy. 1988).

A magzat légzése a paranatális szakaszban

A kikelés zord követelményei több oxigént igényelnek, mint amennyit a diffúziós légzés szolgáltatni tud. Honnan lesz ez a több oxigén? Házi tyúk esetében a csirke kb. a 19. nap folyamán a tojás tompa végén csőrével behatol a légkamrába. Ezt a folyamatot nevezik belső csipogásnak. A belső héjhártýával összenőtt burkok e viszonylag könnyű átszakításakor tér át a csibe tüdőlégzésre: a légkamra légtéréből elkezd szellőztetni a még nem használt tüdejét. Ez lehetővé teszi tüdejének



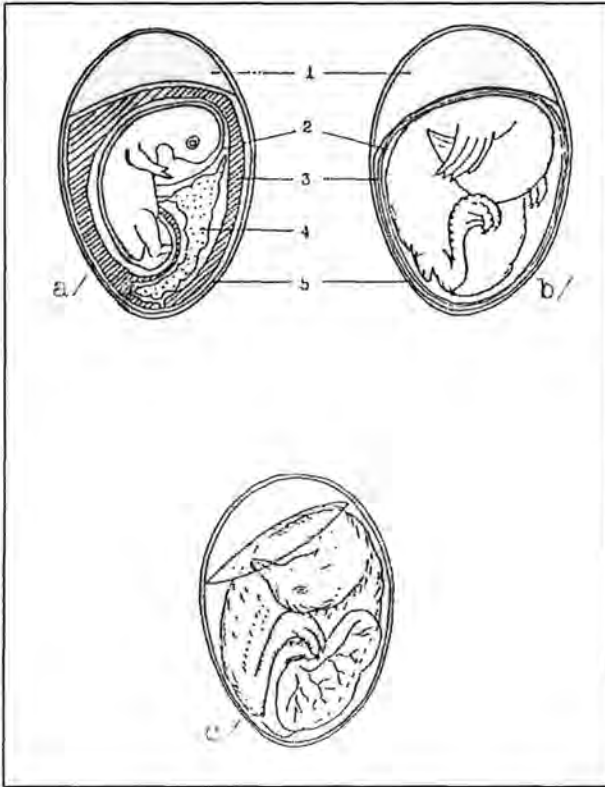
2 kép A mamilláris réteg (a) épen maradt mamillái a héjsapka régióban és (b) a kráteres mamillák a reszorbeált régióban:

1. szárcsa (*Fulica atra*), 2. tőkés réce (*Anas platyrhynchos*),
3. házi tyúk (*Gallus domesticus*), 4. nyári lúd (*Anser anser*)

és a légzsákoknak a felfúvódását, a tüdőlégzés megindulását. A még ép tojás légkamrájából való aktív légzés periódusát paranatális periódusnak nevezik, mivel az allantokorion is működik még: a magzat mind diffúzió, mind konvekció útján jut oxigénhez. (7. ábra).

Mintegy hat órával azután, hogy csőrével behatolt a légkamrába, a csibe megpihentén feltöri a tojáshéjat: A felső csőrkéjében kifejlődött tojásfoggal a héjon „kopogtatva” egy kis lyukat üt és megkezd a légköri levegővel való légzést is. A héj feltörésének e folyamatában a tojásban még mindig gubancban levő fióka (10. ábra) a tarkóján erre az alkalomra kifejlődött páros izom (musculus complexus major) ún. kelési izom (Lomniczi 1980) működtetésével tudja csak fejének lehetséges elmozdulását (le-, fel biccentés) oly erővel végezni, hogy a tojásfoggal ily módon ütögetve (kopogtatva) a héjat, nyílást pattintson rajta a külvilág felé. A kitorés sikerét segíti az a körülmény is, hogy a tojásfoggal a héjra gyakorolt ütések, a csibe testhelyzeténél fogva, a reszorbcio nyomán szerkezetileg meggyengült héjrésznek abba a sávjába esik, amely szomszédos a változatlan szilárdságú héjsapka régióval. Ebben a határzónában a héj, a két héjrégió közt fennálló szilárdságkülönbség következtében, jobban enged a ráható erőnek, könnyebben felpattan. A gyorsan erősödő tüdőműködés mostantól fogva elég aktív ahhoz, hogy lehetővé tegye az oxigénfogyasztásnak, a kikeléshez szükséges erőfeszítés megkívánta jelentős megnövelését. Egyidejűleg az allantokorin-funkció (diffúziós légzés) csökkeni kezd, jöllehet folytatódik, amíg a légzőhártyák (allantokorin és héjhártyák) a héj belső oldalához tapadva maradnak és a csibe kibújásával a postnatális periódus meg nem kezdődik. E végső szakaszban az allantoisz vértartalma a központi vérkeringésbe megy át, az összetapadt hártyák beszáradnak. A kikeléskor a felpattintott héj körbe repesztése ugyancsak a héj szilárdságkülönbségének határzónájában érvényesül legeredményesebben a láb- és a testizmok kifejtette feszítőerő segítségével, amit még növel a tüdőlégzésnél megnövelt testfelület feszítése is (Pryne 1960). A csőr és az izommunka aránya a héj körbe repesztésénél fajoként változó.

A tojásalak és a kelési eredmény összefüggésének említett vizsgálatában a kikelésnél (5. ábra) a tompa végen a nagyobb ívelésnek kettőzötten is tulajdoníthatunk funkcionális jelentőséget: Egyrészt, hogy a tojásfoggal gyakorolt ütögetés egyedüli lehetséges irányának (fel- le biccentés) a héjhajlattal bezárt szöge (ami nagyobb ív estén kedvezőbb) befolyásolhatja a héj felpattintásának eredményességét. Másrészt a légkamrának a héj nagyobb ívelésével növelt légtere is hatásosabban szolgálja a felpattintásnál a csibe oxigénszükségletét.



10. ábra (a) Az embrió és járulékos szervei a költés 15. napján
 (b) helyzete a 20. napon tyúktojás esetében
 (1) légkamra, (2) amnion, (3) allantoisz, (4) sziktömlő, (5) héjhártya
 (Romanoff után)
 (c) Az embrió elhelyezkedése a kelés előtt (Perdix nyomán)

Summary

The fertilized bird's egg, as a system of self preservation, contains the developing embryo and all of the necessary materials for the further development of the embryo until hatching, except for the oxygen which sets in motion the mechanism of metabolism and the other outer conditions necessary for hatching, such as suitable temperature, humidity, ventilation and rotation of eggs, which are all provided by the brood-hen. The author describes the functions of exterior and interior conditions. He points out, in detail, that the cover of the eggshell is a wall between the above mentioned conditions. This eggshell, due to its layered structure, particularly the macro and microstructure, physical and geometrical characteristics, fulfills a very important role from the hatching point of view.

The hatching constraints are completed with the protective role of the shell due to

its solidity, which is related to the thickness of the shell. The solidity of the shell is due to its layering and other structures. The protective and hatching points of views are joined together in the form of the shell. In the prenatal period, the function of the shell in its contact with the chorion is highly important in diffusion respiration - the exchange of gases (O_2 , CO_2), and in the regulation of the degree of humidity (H_2O). The pores, and even more so, the system of blood vessels in the chorion have a role in this process. From the connection of the allantois with the shell region, resorbent calcium is built into the body of the baby chick. Coming between the resorbent region of the allantois and the resorbent region of the chorion is an air chamber (at the larger end) which makes it easier for the chick to be hatched. The shell's optimal shape at the large end also helps in the hatching.