

ALICE ROBERTS

MAREA ȘANȘĂ
A EXISTENȚEI

EVOLUȚIA ȘI DEZVOLTAREA
OMULUI

Cu ilustrațiile autoarei

Traducere de
ANCA BĂRBULESCU

 HUMANITAS
BUCUREȘTI

În memoria lui Pam Stevens, cu drag

CUPRINS

ÎNCEPUTURI	
Misterul concepției și istoria scrisă în corpul nostru	9
CAPETE ȘI CREIERE	
De la originea capului de vertebrată la creșterea fenomenală a creierului uman	33
CRANII ȘI SIMȚURI	
Baza pe care se formează craniul și dezvoltarea organelor cu care percepem lumea înconjurătoare	77
VORBIREA ȘI BRANHIILE	
Originile acvatice ale laringelui	115
COLOANE VERTEBRALE ȘI SEGMENTE	
Tiparul vieții și evoluția coloanei în formă de S.	147
COASTE, PLĂMÂNI ȘI INIMI	
Coastele strămoșilor noștri, inima și plămânii peștilor.	173
INTESTINE ȘI SACI VITELINI	
Legăturile cu strămoșii ovipari și cu primatele antropoide frugivore	199
GONADE, ORGANE GENITALE ȘI GESTAȚIE	
Anatomia reproducerii și de ce sunt neajutorați nou-născuții umani.	215
DESPRE NATURA MEMBRELOR	
Înotătoare, membre și strămoși	249
DE LA ȘOLD LA DEGETELE DE LA PICIOARE	
Întâi învățăm să mergem, apoi să alergăm	265
UMERI ȘI DEGETE MARI	
Strămoșii cățărători și unicitatea mâinii umane	299

CUM AM APĂRUT

Locul nostru în arborele vieții	319
Mulțumiri și lecturi recomandate	337
Lista ilustrațiilor și indice	361

ÎNCEPUTURI

MISTERUL CONCEPȚIEI
ȘI ISTORIA SCRISĂ ÎN CORPUL NOSTRU

„Ex ovo omnia.“
(„Din ou ies toate.“)

WILLIAM HARVEY (1651)

Maternitatea mi-a schimbat complet perspectiva asupra lumii și asupra mea însămi în timp și spațiu. Am născut primul copil în 2010 și în clipa aceea am avut o senzație incredibilă, aproape mistică, de uniune – uniune cu strămoșii mei și cu descendenții mei. M-am simțit *mai mult* decât un individ: eram o verigă în lanțul vieții. Pentru mine, a fost o experiență foarte feminină. Dădeam naștere unei fiice, așa cum și eu mă născusem din mama mea, iar ea din mama ei și tot așa în negura timpurilor.

Bărbații care citesc cartea de față, deși nu pot naște, pot totuși reflecta în mod similar la cromozomul lor Y, care îi leagă de o întregă ascendență de strămoși masculi. E adevărat că nu-i la fel de impresionant ca a naște un copil, dar puține lucruri sunt.

Ca viitoare mamă într-o țară dezvoltată din secolul XXI, am avut șansa incredibilă de a-mi vedea amândoi copiii *înainte* să se nască. Îmi amintesc cât de fericită am fost când, la doar 12 săptămâni de sarcină, mi-am văzut pentru prima oară fetița cum plutea într-un mic lac de lichid amniotic. Pe atunci nici nu știam că era fetiță. Era minunat s-o văd, dar exista în continuare o distanță enormă între imaginea de pe ecran și experiența sarcinii.

Sunt anatomist – structura corpului uman și dezvoltarea lui sunt de domeniul meu –, dar, oricâte știam despre dezvoltarea embrionului, cunoștințele nu-mi știrbeau senzația că ceea ce se petrecea înăuntrul meu era de-a dreptul miraculos. Fertilizarea este oricum incredibilă în sine, iar ideea că un ovul uman fertilizat, o singură celulă, se transformă în ceva atât de complex cum este ființa umană completă este uluitoare. La ecografia de 12 săptămâni, fătul deja se formase în mare parte: avea brațe și picioare cu degete, intestine și o inimă care bătea. Arăta ca un bebeluș miniatural. Cum ajunsese acolo, dintr-o singură celulă, cum fusese în momentul concepției?

E o mare șansă însuși faptul că stai aici, acum, și citești cartea de față. Întâlnirea părinților tăi a fost dintru început improbabilă. De atâtea ori, viețile lor ar fi putut să apuce altă cale, iar ei ar fi putut să cunoască pe altcineva. Odată începută relația, intervine și improbabilitatea ca tocmai ACEL ovul să întâlnească ACEL spermatozoid și să te creeze pe tine. Dar cred că senzația aceasta tulburătoare de improbabilitate a existenței nu se oprește aici.

Dezvoltarea ovulului fertilizat, o celulă unică, într-o ființă umană este o mare șansă – un fel de miracol biologic. Dar este o minune pentru care nu e nevoie să crezi în vreo intervenție supranaturală sau divină; e un miracol natural și, în ultimele secole, oamenii de știință au deslușit multe dintre secretele acestei transformări incredibile (deși, firește, mai rămân destule de descoperit). La prima vedere, transformarea unui singur ovul într-un individ pare atât de imposibilă, atât de *improbabilă*, încât avem nevoie să ne imaginăm o mână supranaturală care îndrumă procesul, dar, odată ce îl înțelegem mai îndeaproape, ne dăm seama cum e cu puțință ca moleculele, celulele și țesuturile să formeze organele corpului nostru. Este un proces fundamental, care ne unește cu toate animalele de pe planetă.

Când te gândești la propria apariție, e aproape imposibil să crezi că ai fost cândva doar o celulă unică, un ovul fertilizat, dar *știi* că e adevărat. Pare improbabil, dar însăși existența ta dovedește că așa au stat lucrurile. Poate îți e greu să crezi că te poți trage din strămoși care, cu mult timp în urmă, au fost monocelulari. Dar, odată ce te împaci cu faptul imposibil de negat că tu însuși te-ai dezvoltat dintr-o singură celulă în formă embrionară, devine, poate, mai ușor să crezi că tu *și noi*, ca specie, am avut o origine atât de umilă. În arborele genealogic mai recent (care este și el, în fond, destul de vechi), găsești strămoși care erau viermi. Îți poți urmări genealogia, trasându-ți propria ascendență prin arborele stufos al vieții, până la strămoși care erau pești, amfibieni, reptile, mamifere primitive, primate primitive, primate antropoide – până ajungi la tine. (Apropo, și tu ești tot o primată, doar că una foarte specială.)

Am scris cartea aceasta nu doar ca să-i ajut pe cititori să-și regăsească legătura cu originea lor ca oameni – din punctul în care un ovul al mamei a fost fertilizat de un spermatozoid al tatălui –, ci și ca să-i ajut să-și regăsească legătura cu strămoșii mai îndepărtați. În

primele câteva capitole, ne vom concentra asupra strămoșilor mai timpurii, ca viermii și peștii, dar treptat vom ajunge la ramurile mai recente ale arborelui genealogic, iar când vom ajunge să vorbim despre extremități vom discuta despre mâinile și picioarele strămoșilor hominizi și ale celor mai apropiate rude primare care încă există.

Povestea dezvoltării corpului uman este (după cum sper să vă conving) cea mai fascinantă din câte ne poate oferi știința. Fiecare dintre noi a parcurs călătoria aceasta, de la o celulă unică la un organism complex compus din sute de tipuri de celule, care conține în total în jur de 100 de trilioane de celule. În același timp însă, fiecare dintre noi este produsul evoluției și suntem departe de a fi o operă perfectă, așa cum vom descoperi în continuare. Milioanele de ani de evoluție au produs un rezultat funcțional, într-adevăr, dar limitat de propria istorie și construcție. Cu cât studiez mai mult structura și funcționarea corpului uman, cu atât înțeleg mai bine că edificiul acesta pe care-l locuim este un amestec improvizat. Deși genial, este totuși imperfect. Istoria noastră evolutivă se regăsește în moduri surprinzătoare în dezvoltarea embrionară și chiar și în anatomia noastră ca adulți; multe dintre defectele corpului uman nu pot fi înțelese decât în context evolutiv. Cu toate acestea, strămoșii noștri ne-au transmis și calități, nu numai defecte; există urme ale unor strămoși extrem de îndepărtați în organismele noastre, în embrion și în ADN.

Biologia evoluționistă trece printr-o perioadă fascinantă, dacă o perioadă fascinantă se definește prin multe întrebări noi. Încă ne străduim să înțelegem dacă evoluția se petrece treptat sau în salturi și cât de previzibilă este. Încă încercăm să aflăm în ce măsură au fost modelate forma și funcțiile corpului nostru de natură și creștere, în ce măsură sunt limitate de trecutul lor evolutiv și de programul genetic care le dictează dezvoltarea și în ce măsură au fost influențate de mediu și de selecția naturală.

Spunând povestea „aparității noastre“ prin evoluție și embriologie, ne vom explora propria anatomie și ne vom cunoaște strămoșii din trecutul evolutiv, dar și pe acei pionieri ai științei care ne vor călăuzi în această aventură. Dar personajul principal din poveste ești, de fapt, TU. E vorba despre moștenirea *ta* evolutivă și despre dezvoltarea *ta* embrionară, în timpul căreia ai crescut și te-ai schimbat, iar unele părți din tine s-au împăturit ca un origami până ai căpătat formă

umană. Ca oameni, nu vom fi niciodată mai aproape de transformarea profundă din omidă în fluture. Fiecare dintre noi a trecut prin metamorfoza aceasta, de la un ovul la un disc plat, la un tub gol pe dinăuntru, la o creatură micuță cu brațe și picioare scurte, la ceva care începea să semene a om – în răstimp de doar două luni de la concepție.

Aceasta e *cea mai bună* poveste despre creație, fiindcă este adevărată. Și, în plus, e plină de revelații destul de bizare. În ADN-ul tău există urme ale unui strămoș pe care-l ai în comun cu musculița de oțet. La un moment dat în cursul dezvoltării, embrionului tău păreau să-i crească branhiile. De asemenea, uneltele pe care au început să le făurească și să le folosească strămoșii noștri cu milioane de ani în urmă au ajuns să le *schimbe* anatomia – au contribuit la modelarea mâinilor tale așa cum arată ele acum. Această poveste științifică, care pornește de la dovezi din multe surse, este mai extraordinară, mai stranie și mai frumoasă decât orice mit al creației pe care l-am fi putut noi născoci.

SCURT ISTORIC AL IDEILOR

Originea unei ființe umane noi, de fapt a oricărui organism, a fost, până nu demult, unul din marile mistere ale științei. În secolul al IV-lea î.Hr., Aristotel a scris *Despre nașterea animalelor* – prima carte științifică despre embriologie, în care avansa ideea că sperma masculului activează sângele menstrual al femeii, creând astfel un embrion. Deși în ziua de azi ni se pare o ipoteză ciudată, dacă ne gândim mai bine, se bazează pe premise foarte rezonabile; presupune existența unei legături între sex și sarcină – partea aceasta este, firește, adevărată. Cu mult înainte ca oamenii să privească printr-un microscop și să vadă un ovul uman, ceea ce credeau ei despre sângele menstrual era foarte rezonabil, fiindcă menstruația se întrerupe când intervine sarcina.

Pentru mulți oameni de știință din secolele următoare, faptul că nu se cunoșteau alți precursori ai embrionului în afara fluidelor corporale nu era neapărat o problemă. Despre unele animale se credea chiar că se nașteau din obiecte neînsuflețite – astfel, de exemplu, muștele ar fi apărut spontan din carne putredă. Teoria dezvoltării a lui Aristotel, sau „epigeneza“, cum o numea el, propunea ideea că

un corp uman complex se poate dezvolta din amestecul unor fluide simple, ca sperma (și să nu uităm că Aristotel nu știa despre existența spermatozoidilor, pentru el sperma nu era decât un lichid lăptos și omogen) și sângele menstrual. Aproape nimeni nu avea să-i conteste teoria timp de două milenii.

„Părintele medicinei“ din Grecia antică, Hipocrat, presupusese că pentru concepție erau necesare atât o sămânță bărbătească, cât și una femeiască, dar ideea lui Aristotel – conform căreia sperma bărbatului era ingredientul esențial pentru apariția unui copil – a căpătat mai multă influență. La jumătatea secolului al XVII-lea însă, William Harvey trebuie să se fi îndoit de explicația aceasta, fiindcă a început să studieze apariția animalelor prin disecții; totuși, deși era convins că trebuie să existe un „ou“ feminin și chiar că acesta trebuie să vină din ovar, n-a reușit să-l găsească.

Acum știm cu toții cum are loc concepția; este un fapt care ține de domeniul evidenței. Dar povestea descoperirii originii vieții omeneste este fascinantă și a depins de capacitatea de a vedea ce se întâmplă – la scară microscopică. Pentru descoperirea aceasta a fost nevoie de o tehnologie care să sporească capacitatea ochiului omenesc și să-i permită să vadă obiecte mult mai mici decât ar fi putut fără lentile suplimentare. Lupele simple existau încă din secolul al XVI-lea, dacă nu mai devreme, dar nu este clar cine a inventat primul microscop. Galileo este, probabil, mai celebru pentru inventarea telescopului, dar tot el a creat și un dispozitiv căruia îi spunea *occholino* (pe atunci, „ochișor“, în italiană; astăzi desemnează gestul de „a face cu ochiul“). La începutul secolului al XVII-lea, „ochișorul“ lui Galileo căpătase deja numele pe care-l cunoaștem în prezent: microscop. Mai târziu în același secol, Robert Hooke avea să folosească microscopia pentru a studia detaliile ascunse ale unor ființe și lucruri familiare – purici, urzici și înțepături de albină – și să-și publice descoperirile într-o carte superbă, intitulată *Micrographia*.

În vremea aceasta, pe țărmul opus al Mării Nordului, un negustor de pânzeturi pe nume Antonie van Leeuwenhoek devenise pasionat de lentilele de sticlă foarte mici, cu ajutorul cărora construia microscopice. Privind prin lentilele miniaturale, a ajuns să vadă tot felul de detalii și obiecte mărunte pe care nu le mai văzuse și nu le mai înregistrase nimeni până atunci. A putut observa, astfel, alge *Volvox*, animale

planctonice minuscule, procesul de depunere a ouălor la muște, celulele roșii din sângele uman și detalii microscopice ale splinei, mușchilor și oaselor.

Tot van Leeuwenhoek a fost și primul om care a văzut un spermatozoid uman. Închipuți-vă cât de uluit trebuie să fi fost. Ne e greu să ne imaginăm, fiindcă *noi* știm că spermatozoizii există, dar să uităm asta deocamdată; e anul 1677, ești van Leeuwenhoek și te fascinează posibilitățile lumii microscopiei. Știi că, printr-un mecanism oarecare, sperma duce la apariția copiilor, așa că obții o mostră (detaliile legate de partea aceasta le las în seama imaginației) și te uiți la o picătură din lichidul acela lăptos la microscop. O privești, uimit de imaginea care ți se arată. Tot câmpul tău vizual freamătă. Distingi celule individuale, care seamănă cu niște mormoloci și dau frenetic din coadă. Par a fi microorganisme, ca protistele pe care le-ai descoperit deja (și despre care ai trimis scrisori către Royal Society¹). Doar că „animalculii“ aceștia veneau de la un om.

Lucrul cu adevărat uimitor este însă (în retrospectivă, firește) că nici Leeuwenhoek, nici oamenii de știință de la Royal Society din Londra, cărora le-a descris într-o scrisoare observațiile lui, nu și-au dat seama imediat de importanța lor: descoperiseră jumătate din secretul concepției.

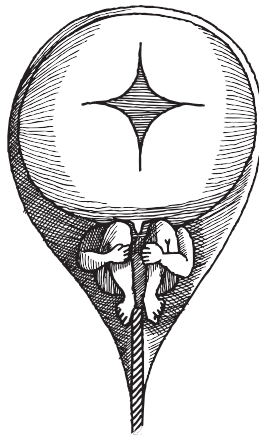
Un alt olandez are meritul că *aproape* a descoperit ovulul uman. E vorba de un medic pe nume Regnier de Graaf, care, în 1672, a publicat un tratat despre organele reproductive feminine ce includea o descriere a dezvoltării foliculilor în ovarele iepuroaicelor. Aceste mici grupări de celule, prezente și în ovarele umane, aveau să-i poarte numele: foliculi ai lui de Graaf. Tot el a observat și niște sfere minuscule în trompele uterine, după spargerea foliculilor, și a dedus că aceștia din urmă (și sferile) trebuiau să conțină ouă. Dar ovulul mamiferelor avea să fie identificat abia în 1827.

Autorul descoperirii a fost Karl Ernst von Baer. După cum ne spune și numele, strămoșii lui erau germani, dar el s-a născut în Estonia, care în 1792 făcea parte din Imperiul Rus. Ca profesor de zoologie la Universitatea din Königsberg, von Baer a studiat embriologia și, în 1827, a descoperit ovulul mamifer, cuibărit în foliculul lui de Graaf din ovar.

1. Societate a oamenilor de știință înființată în 1660, actualmente cu rolul de consilier științific oficial pe lângă guvernul britanic (n. tr.).

Fantastic! S-ar părea că cercetătorii rezolvaseră enigma: există un ovul și există spermatozoizi. Împreună, formează un embrion. Numai că, din nou, ideea este simplă doar din perspectiva noastră, care știm atâtea lucruri. Poate că ideile lui Aristotel erau atât de adânc înrădăcinate, încât era imposibil să se creadă că spermatozoidul și ovulul contribuiau în proporție egală la procesul misterios care ducea la crearea unui nou individ. Așadar, comunitatea științifică s-a împărțit în două tabere: ovuliștii și spermiștii. Ovuliștii considerau sperma o simplă forță care „trezește“ ovulul. Spermiștii considerau ovulul o simplă sursă de hrană pentru viața nouă creată de spermatozoid.

Identificarea spermatozoidului și a ovulului însemna și desființarea ideii perspectivei aristotelice asupra epigenezei, conform căreia viața, în toată complexitatea ei, se dezvoltă cumva din fluide simple. Dar rămânea de rezolvat un mister asemănător. Cum să se dezvolte un organism complex din lucruri care păreau atât de simple, precum spermatozoidul și ovulul? Pentru mulți oameni de știință din secolele al XVII-lea și al XVIII-lea, răspunsul stătea în teoria preformaționistă. Potrivit acestei teorii, complexitatea exista deja, în miniatură, în precursorul embrionului (ovulul sau spermatozoidul, în funcție de tabără – ovuliști sau spermiști). Versiunea dusă la extrem a teoriei sugera că în spermatozoid era prezentă o persoană întreagă, gata formată – un „homunculus“ minuscul. Șlefuitorul de lentile olandez Nicolas Hartsoeker (care a



Homunculus – după Hartsoeker

învățat meserie de la Leeuwenhoek) a desenat un astfel de homunculi, strâns ghemuit în partea de sus a spermatozoidului.

Filozoful și preotul francez Nicolas Malebranche a dus și mai departe ideea preformaționistă. În 1674, a propus o teorie numită *emboîtement*, conform căreia fiecare individ își începe existența închis „ca în cutie“ în ovulul mamei. Scria:

„În germenul bulbului de lealea se vede lealeaua întregă. Iar în germenul unui ou proaspăt se vede [...] un pui, poate, format pe de-a-ntregul.“

Malebranche conchidea că „toate trupurile de oameni și animale care s-au născut vreodată [...] au fost făcute, pesemne, încă de la facearea lumii“. Cu alte cuvinte, toți oamenii care au trăit (și vor trăi) vreodată existau deja, în formă miniaturală, cuibăriți în ovarele Evei – cea mai formidabilă matrioșcă rusească. Teoriei preformaționiste i se spunea pe atunci „evoluție“, termen adecvat, întrucât înseamnă „desfășurare“ sau „depănare“. În ziua de azi, firește, cuvântul are cu totul alt sens. Poate că *emboîtement*-ul chiar le părea posibil unor oameni care credeau că lumea nu era mai veche de câteva mii de ani. În plus, toate acestea se petreceau înainte ca teoria celulelor să stabilească o limită inferioară de mărime, așa că existența unor astfel de ființe minuscule, preformate, părea verosimilă.

Dar cele de mai sus nu înseamnă că primii embriologi credeau cu toții într-o formă atât de radicală de preformaționism. Oricine privea un embrion în primele stadii la microscop știa că nu arată ca un individ minuscul, preformat – cel puțin nu în primele câteva săptămâni de viață. Unele din aspectele mai radicale ale preformaționismului ni se par ridicole în ziua de azi, dar adepții săi aveau dreptate într-un fel, fiindcă își bazau argumentul pe ideea că nu era cu puțină ca un organism complex să apară din ceva complet neorganizat, complet omogen. Aveau dreptate, firește; numai că avea să mai treacă ceva vreme până să fie descoperită molecula care conținea informația necesară pentru formarea unui corp cu totul nou.

ÎNCEPUTURILE TALE

Acum înțelegem mult mai bine ce procese implică dezvoltarea unui om nou. Identitatea genetică a noului individ s-a hotărât în clipa în care unul dintre spermatozoizii tatălui a înotat printr-unul din oviductele trompelor uterine ale mamei și a întâlnit un ovul care cobora spre uter.

Să ne imaginăm ovulul cu pricina: a ieșit din ovarul în care a crescut, împreună cu un grup de celule mai mici. A intrat în gura ca o pâlnie a oviductului, tivită cu fimbrii, formațiuni în formă de degete, iar acum se deplasează cu ajutorul cililor minusculi, ca niște fire de păr, care căpтуșesc oviductul și se unduiesc ca să creeze un curent în fluidul din trompă.

Acum să ne închipuim un spermatozoid care înoată din răspuțeri, bătând violent din coadă, urcând prin canalul cervixului și prin cavitatea uterină și intrând în oviduct (trompa falopiană). Probabil i-au trebuit câteva zile să ajungă aici. Spermatozoidul acesta ajunge primul la ovul, printr-un amestec de noroc și putere; la o singură ejaculare se eliberează în vagin câteva sute de milioane de spermatozoizi, dar, deși au ajuns departe față de locul lor de origine, testiculele, încă mai au cale lungă de străbătut. Mulți vor muri înainte să apuce să iasă din vagin în coridorul îngust care trece prin strâmtoarea de la intrarea în uter, numită cervix. Dacă nu este perioada propice din lună, mucoasa lipicioasă din cervix formează o barieră care împiedică spermatozoidul să înainteze. Dar în perioada ovulației mucoasa cervicală devine mai alunecoasă și mai fibroasă. (Aceasta este o metodă foarte veche de a estima zilele de fertilitate optimă din ciclul menstrual al femeii. Mucoasa cervicală, care până atunci a fost densă și lipicioasă, capătă o consistență elastică, asemănătoare cu albușul de ou. În germană, proprietatea aceasta se numește „*spinnbarkeit*“, „care se poate toarce“.) În cursul călătoriei prin cervixul uterin spre cavitatea dinăuntru, tot mai mulți spermatozoizi vor rămâne în urmă, în timp ce altora mediul acesta le va prii și vor bate din coadă și mai puternic, înotând tot mai sus și mai sus, până intră într-unul din oviducte. Ovulul trimite semnale chimice ca să ajute spermatozoizii să aleagă oviductul corect. Numărul de spermatozoizi care ajung efectiv la ovul reprezintă o fracțiune minusculă din cei ejaculați. Se poate să nu

ajungă atât de departe decât un spermatozoid dintr-un milion. Dar competiția e departe de a se fi sfârșit.

La ovul ajung sute de spermatozoizi aproape în același timp; acesta e înconjurat din toate părțile de celulele minuscule, dar nu are nevoie decât de una. Unele vor trece de *cumulus oophorus* – haloul de celule din jurul ovulului, care au rămas atașate de el de la ovulație, când s-a desprins din ovar. Odată ce trec de acesta, spermatozoizii ajung la *zona pellucida*, un strat gros, gelatinos, care înconjoară membrana ovulului. De-aici nu mai există scăpare; zona pellucida îi prinde în capcană. Capetele spermatozozilor rămân împotmolite în gel: proteinele zaharoase din gel se atașează de receptorii proteinici din membrana spermatozoidului, ca niște chei microscopice care ar intra în broască. Iar cheile acestea chiar descuie ceva: declanșează eliberarea de enzime din vârful spermatozoidului, ceea ce-i permite acestuia să penetreze zona și să ajungă la membrana celulară a ovulului propriu-zis. Acum, membrana spermatozoidului este în contact cu cea a ovulului. Membranele fuzionează, iar cele două celule – spermatozoidul minuscul și ovulul – se unesc într-una singură.

Iată momentul concepției: evenimentul acesta extraordinar, care se petrece însă zi de zi în lume, undeva în adâncul întunecat al corpului mamei. Dar e bine să nu uităm că ovulul fertilizat *nu* este o persoană. Este doar o celulă. Nu există nici o garanție în etapa aceea că celula respectivă va ajunge un organism întreg. Doar în retrospectivă poți spune: atunci am apărut eu.

În clipa contactului, când fuzionează membrana spermatozoidului și cea a ovulului, se întâmplă trei lucruri. Spermatozoidul continuă să înoate spre interiorul ovulului, lăsându-și în urmă membrana – simplă carapace abandonată la suprafața ovulului. În interiorul acestuia, aproape de membrana care-l îmbracă, se află săculeți minusculi cu compuși chimici care, acum, se contopesc cu membrana ovulului și își golesc conținutul în spațiul aflat imediat sub zona pellucida, ceea ce o transformă și o întărește, astfel încât să nu mai ajungă nici un spermatozoid să fuzioneze cu ovulul. Este o etapă importantă: ovulul nu are nevoie decât de un set de cromozomi ca să și-i completeze pe ai săi – 23 de cromozomi, care să formeze perechi cu cei 23 pe care îi are deja. Dacă ar mai fertiliza ovulul și alți spermatozoizi, ar ajunge în el mai multe seturi de cromozomi, iar șansele de dezvoltare a unui embrion viabil ar deveni nule.