CEZAR TH. NICULESCU
RADU CÂRMACIU
BOGDAN VOICULESCU
CRISTIAN NIȚĂ
CARMEN SĂLĂVĂSTRU
CĂTĂLINA CIORNEI
ALEXANDRU LAURENȚIU STATE
CONSTANȚA-ALICE ȘTEFĂNESCU

# ANATOMIA ȘI FIZIOLOGIA OMULUI

## compendiu

EDIȚIA A III-A ADĂUGITĂ

CORINT
EDUCAȚIONAL

## Prezentarea autorilor:

Prof. univ. dr. **Cezar Th. Niculescu**

A fost Şeful Catedrei de anatomie şi embriologie,
UMF „Carol Davila” din Bucureşti

Prof. univ. dr. **Radu Cârmaciu**

Membru al Academiei de Ştiinţe Medicale
A fost Şeful Catedrei de fiziologie „N.C. Paulescu”,
UMF „Carol Davila” din Bucureşti

Dr. **Bogdan Voiculescu**
Fost cadru universitar la Catedra de anatomie şi embriologie,
UMF „Carol Davila” din Bucureşti

Prof. dr. **Carmen Sălăvăstru**
Profesor de Dermatologie, Clinica Dermatologie Copii,
UMF „Carol Davila” din Bucureşti,
Spitalul Clinic Colentina

Dr. **Cătălina Ciornei**
Conf. univ. dr., Disciplina Fiziologie, UMF „Carol Davila” din Bucureşti

Dr. **Cristian Niță**

A fost Şef de lucrări, Catedra de anatomie şi embriologie,
UMF „Carol Davila” din Bucureşti

**Alexandru Laurențiu State**
Medic rezident Radiologie-Imagistică Medicală,
Spitalul Clinic de Urgență Bucureşti

**Constanța-Alice Ştefănescu**
Medic rezident Radiologie-Imagistică Medicală,
Spitalul Universitar de Urgență Militar Central „Dr. Carol Davila”

# CELULA

## GENERALITĂȚI

Celula este unitatea de bază morfofuncțională și genetică a organizării materiei vii. Poate exista singură sau în grup, constituind diferite țesuturi.

**Forma celulelor** este legată de funcția lor. Inițial, toate au formă globuloasă, dar ulterior pot deveni fusiforme, stelate, cubice, cilindrice etc.; unele, cum sunt celulele sangvine, ovulul sau celulele cartilaginoase, își păstrează forma globuloasă.

**Dimensiunile celulelor** variază în funcție de specializarea lor, de starea fiziologică a organismului, de condițiile mediului extern, vârstă etc. Exemple: hematia - 7,5 μ, ovulul- 150-200 μ, fibra musculară striată - 5-15 cm; media se consideră 20-30 μ.

## STRUCTURA CELULEI

În alcătuirea celulei (fig. 1) distingem trei părți componente principale: 1. membrana celulară (plasmalema); 2. citoplasma; 3. nucleul.

MEMBRANA CELULARĂ

Celulele sunt delimitate de o membrană celulară care este de natură lipoproteică. Ultrastructura membranei celulare, stabilită prin microscopie electronică, arată o structură tri-laminată, cu un strat extern, unul mijociu și unul intern, fiecare în grosime de 25 Å. Din punct de vedere biochimic, stratul mijlociu este bimolecular lipidic (fosfolipide și colesterol), iar straturile extern și intern sunt de natură proteică. La nivelul membranei s-a constatat existența unor sisteme enzimatice cu rol activ în transportul substanțelor, cât și existența unei încărcări electrice (potențial de membrană).

La unele celule, citoplasma prezintă diferite prelungiri acoperite de plasmalemă. Unele pot fi temporare și neordonate, de tipul pseudopodelor (leucocite), altele permanente: microvilii (epiteliul mucoasei intestinului, epiteliul tubilor renali), cilii (epiteliul mucoasei traheei) sau desmozomii, care solidarizează celulele epiteliale.

CITOPLASMA

Are o structură complexă, la nivelul ei desfășurându-se principalele funcții vitale. Este un sistem coloidal complex, în care mediul de dispersie este apa, iar faza dispersată este ansamblul de micele coloidale în continuă mișcare browniană.

Citoplasma este alcătuită din structuri de aspect corpuscular, filamentos sau membranos, înglobate într-o matrice sau substanță fundamentală, numită hialoplasmă (parte nestructurată). După natura lor, structurile citoplasmatice pot fi:

A. Structuri ce reprezintă diferențieri ale citoplasmei, cu anumite funcții, numite **organite celulare,** și care sunt de două categorii:

a. **organite generale** (comune tuturor celulelor, care îndeplinesc funcții generale);

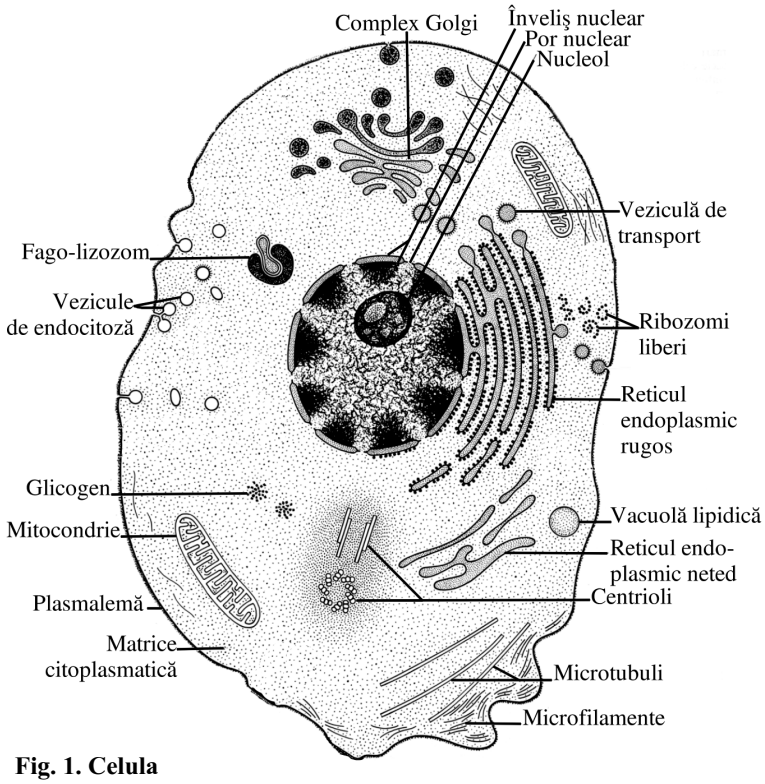


**Fig. 1. Celula**

b. **organite specifice** (la anumite celule, adaptate unor funcţii specifice).

B. Structuri care sunt produsul unor procese celulare, numite **incluziuni citoplasmatice** (materiale de depozit, ca: lipide, glicogen, pigmenţi, unele săruri minerale etc.).

***Organite generale***

| Organite | Structură | Funcţii |
|---|---|---|
| **1. Reticulul endoplasmatic (RE)** | Sistem canalicular dinamic, care leagă plasmalema de stratul extern al membranei nucleare. Se poate retracta sau fragmenta, formând cisterne şi vezicule. | Sistem circulator intracitoplasmatic. |
| RE neted | Reţea de citomembrane (500 Å – 1000 Å), de aspect diferit, în funcţie de activitatea celulară. Mai abundent în fibrele musculare striate, celulele corticosuprarenalei, foliculul ovarian etc. | Rol important în metabolismul glicogenului. |
| RE rugos | Formă diferenţiată a RE. Pe suprafaţa externă a peretelui membranos prezintă mici particule de ribonucleoproteine - ribozomi. Abundent în limfocite, celulele pancreatice, în general în celulele ce produc proteine de secreţie. | Rol în sinteza de proteine. |
| **2. Ribozomii (corpusculii lui Palade)** | Organite bogate în ribonucleoproteine, de forma unor granule ovale sau rotunde (150 - 250 Å). Există ribozomi liberi în matricea citoplasmatică şi asociaţi citomembranelor, formând ergastoplasma. Abundenţi în celulele cu sinteză de proteine şi în faza de creştere a celulelor. | Sediul sintezei proteice. |

***Organite generale*** *- continuare*

| Organite | Structură | Funcții |
|---|---|---|
| **3. Complexul Golgi** | Sistem membranar format din micro şi macrovezicule şi din cisterne alungite, situat în apropierea nucleului, în zona cea mai activă a citoplasmei. | Transportul, modificarea posttraducere şi împachetarea proteinelor de secreție primite de la RE. |
| **4. Mitocondriile** | Formă ovală, rotundă, cu un perete având structură trilaminară (lipoproteică). Prezintă un înveliş extern (membrana externă), urmat de un interspațiu, şi spre interior membrana internă, plicaturată, formând creste mitocondriale. În interior se găseşte matricea mitocondrială în care se află sistemele enzimatice care intervin în ciclul Krebbs. Energia chimică produsă este stocată în legăturile macroergice ale ATP sintetizat în mitocondrii. | Sediul energogenetic al organismului, respirație celulară. |
| **5. Lizozomii** | Corpusculi sferici (0,2 - 1μ), răspândiți în întreaga hialoplasmă. Conțin enzime hidrolitice, cu rol important în celulele care fagocitează (leucocite, macrofage). | Digerarea substanțelor şi particulelor care pătrund în celulă, precum şi a fragmentelor de celulă sau țesut (autoliză celulară). |
| **6. Centrozomul** | În interchineză apare de forma unui corpuscul sferic în apropierea nucleului. Este format din 2 centrioli cilindrici, orientați perpendicular unul pe celălalt şi înconjurați de o zonă de citoplasmă hialină, vâscoasă (centrosferă). În timpul diviziunii celulare dă naştere asterului şi fusului de diviziune. | Rol în diviziunea celulară (lipseşte în neuron, care nu se divide). |

***Organite specifice***

- **Miofibrilele** sunt elemente contractile din sarcoplasma fibrelor musculare.
- **Neurofibrilele** sunt formațiuni diferențiate ale neuroplasmei celulei nervoase.
- **Corpusculii Nissl** sunt echivalenți ai ergastoplasmei pentru celula nervoasă.
- **Cilii, flagelii** etc.

NUCLEUL

Este o parte constitutivă principală, cu rolul de a coordona procesele biologice celulare fundamentale (conține materialul genetic, controlează metabolismul celular, transmite informația genetică). Poziția lui în celulă poate fi centrală sau excentrică (celule adipoase, mucoase). Are, de obicei, forma celulei.

**Numărul nucleilor**. Majoritatea celulelor sunt monocariocite (un nucleu), dar pot fi şi excepții: celule binucleate (hepatocitele), polinucleate (fibra musculară striată), anuclate (hematia adultă).

**Dimensiunile nucleului** pot fi între 3 -20 μ, corespunzând ciclului funcțional al celulei, fiind în raport cu citoplasma de 1/3 - 1/4. Pot fi însă şi celule mici cu nucleu mare (limfocite) sau celule mari cu nucleu mic (ovulul).

**Structura nucleului** cuprinde membrana nucleară, carioplasma şi unul sau mai mulţi nucleoli. **Membrana nucleară**, poroasă, este dublă, cu structură trilaminată, constituită din două foiţe, una externă, spre matricea citoplasmatică, ce prezintă ribozomi şi se continuă cu citomembranele reticulului endoplasmic, alta internă, aderentă miezului nuclear. Între cele două membrane există un spaţiu, numit spaţiu perinuclear, ce conţine un material amorf.

Sub membrană se află **carioplasma**, cu aspect omogen; este o soluţie coloidală, cu o fază de sol (cariolimfa) şi alta de gel (cromatina nucleară). În interfază, cromatina se prezintă sub forma unor filamente răsucite, fixate de membrana nucleară sau de nucleoli - numite cromoneme (structura elementară microscopică a cromatinei şi a cromozomilor). La începutul diviziunii celulare, cromonemele se scurtează, se îngroaşă, luând aspectul de cromozomi, formaţi din două filamente alăturate, numite cromatide, legate într-un singur punct - centromer. Biochimic, cromatina este formată din nucleoproteine (ADN legat de histone), fiind sediul informaţiei genetice.

În carioplasmă se găsesc unul sau mai mulţi **nucleoli**, cu rol important în sinteza de ARN. Au forma unor corpusculi denşi, rotunzi sau ovalari, delimitaţi de o condensare a cromatinei nucleare.

## CELULELE SEXUALE

OVULUL

Se formează din foliculii ovarieni din epiteliul germinativ al corticalei ovarului. Are 150 - 200 μ, formă sferică şi o garnitură haploidă (conţine jumătate din numărul de cromozomi: 22+X). Structural, este format din membrană vitelină (fig. 2A), citoplasmă,

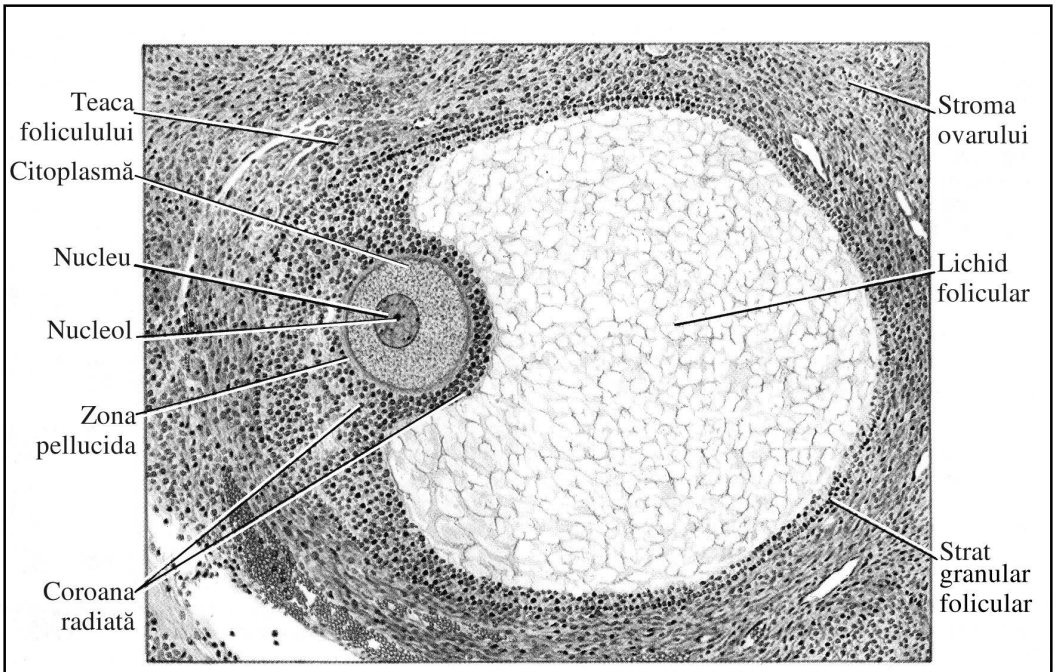


**Fig. 2A. Ovulul**

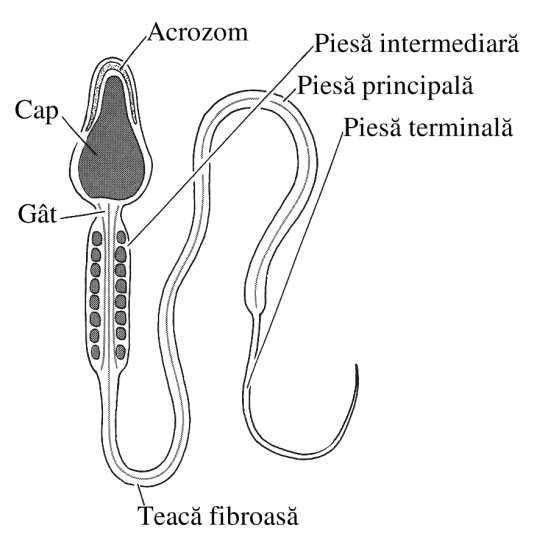


**Fig. 2B. Spermia**

nucleu, membrană pellucida, iar la exterior din coroana radiată, care nu aparține ovulului propriu-zis. La exteriorul citoplasmei se găsește membrana vitelină, acoperită de membrana sau zona pellucida, mai groasă, transparentă și străbătută de canalicule fine (produs de excreție al celulelor foliculare). În jurul zonei pellucida se găsește un înveliș celular, format din celule foliculare, pe unul sau mai multe straturi, cu dispoziție radiară, formând coroana radiată.

**Citoplasma** are o porțiune periferică mai fluidă, transparentă, și o zonă mai densă în jurul nucleului, cu mai puține substanțe hrănitoare. Conține organite celulare comune, iar alături de nucleu se află centrul celular al ovulului (centrozom), numit și corpul vitelin Balbiani. Nucleul, situat central, este mic, are un nucleol și prezintă mișcări ameboide.

SPERMIA

Se formează, prin procesul de spermatogeneză, în tubii seminiferi ai testiculului, începând cu pubertatea; este celulă mobilă, flagelată, cu o lungime de 50 - 70 μ și garnitură cromozomială haploidă (22 + X sau 22 + Y). Spermia este alcătuită din cap, gât, piesă intermediară (corp) și coadă (fig. 2B).

**Capul** (4 - 5 μ), de formă ovală, are un nucleu mare, învelit periferic de un strat subțire de citoplasmă. Anterior prezintă un corpuscul ascuțit, numit acrozom (perforator), cu care spermia lizează ovulul în timpul fecundației. Chimic, capul conține nucleoproteine, lecitine, glicogen.

**Gâtul** este o regiune scurtă și îngustă (0,4 μ), cuprinsă între centriolul proximal și butonul terminal pe care se inseră flagelul.

**Corpul** este cuprins între cele două jumătăți ale centriolului distal, cu o lungime de 5 - 9 μ. Central, se găsește filamentul axial, cu structura tipică a unui cil mult alungit, înconjurat la rândul său de "teaca mitocondrială" (mitocondrii dispuse spiralat). Periferic se găsește un strat subțire de citoplasmă înconjurată de plasmalemă. La nivelul piesei intermediare (corp) se găsește centrul cinetic al spermiei, unde sunt generate mișcările acesteia.

**Coada** (45 - 55 μ), ultrastructural, este formată din două segmente: piesa principală, porțiunea cea mai lungă (40 - 45 μ) și piesa terminală (5-10 μ). Structural, piesa principală este formată din filamentul axial, înconjurat de învelișul citoplasmei. Piesa terminală, segmentul terminal al cozii, are în interior filamentul axial, fără teacă citoplasmatică la exterior. Spermiile sunt celule foarte mobile, care execută mișcări helicoidale, deplasându-se cu viteza de 1 - 3 mm/min. Vitalitatea și mișcările spermiilor depind de pH (soluțiile slab alcaline îi activează, cele acide sau alcoolul îi distrug) și variază în funcție de temperatură etc.

SPERMATOGENEZA

Este procesul de multiplicare şi maturare a gametului masculin. Începe la pubertate şi se continuă, fără întrerupere, până la vârste înaintate. Ritmul spermatogenezei este intens la tineri şi adulţi, scade la bătrâni, dar calitatea spermatozoizilor rămâne neschimbată. Spermatogeneza reprezintă funcţia exocrină a testiculului. Procesul se petrece la nivelul tubilor seminiferi contorţi. Celulele cap de serie se numesc spermatogonii sau celule germinative masculine primordiale.

Spermatogeneza se desfăşoară în două etape succesive: 1. spermatocitogeneza; 2. spermiogeneza. Un ciclu complet durează 72 de ore.

Spermatogoniile, având în nucleu garnitură diploidă de cromozomi (22 de perechi cromozomi somatici şi o pereche XY), se divid de două ori mitotic, rezultând spermatocitele de ordinul I (46 de cromozomi). Acestea sunt celule voluminoase, ce se divid meiotic şi dau naştere la spermatocitele de ordinul II, celule mai mici, cu garnitură haploidă de cromozomi (22 + X sau 22 + Y).

Începând de la spermatocitul de ordinul II, spermatogeneza va forma gameţi masculini în două variante: 50% posesori de heterocromozomi X şi 50% Y. Spermatocitele de ordinul II se divid o singură dată, din nou prin mitoză. Din această ultimă diviziune rezultă două spermatide, care se alipesc de celulele Sertoli şi se transformă, fără diviziune, în spermatozoizi (spermii).

Pe măsură ce se maturează, spermiile se desprind de celulele Sertoli şi se deplasează în lungul căilor spermatice până la veziculele seminale (organe de depozit), de unde se elimină la exterior prin uretră (reflexul de ejaculare). Ca şi spermatocitele de ordinul II, spermiile sunt de două tipuri: X sau Y. Dacă ovulul este fecundat de un spermatozoid purtător de cromozom X, produsul de concepţie este programat să devină fată, iar dacă fecundarea se produce cu un spermatozoid purtător de cromozom Y, produsul de concepţie este programat să devină băiat.

OVOGENEZA

Reprezintă funcţia exocrină a ovarului, prin care se realizează maturarea şi expulzarea ovulului. Procesul se petrece în mai multe etape, similare cu ale spermatogenezei, dar după un calendar foarte diferit. Celulele sexuale primordiale feminine sunt ovogoniile ce conţin în nucleul lor un set diploid de cromozomi (44 + XX). Ovogeneza începe încă în perioada fetală, prin diviziuni mitotice ale ovogoniilor, care devin ovocite de ordinul I. Din acest moment, cronologia ovogenezei suferă o mare abatere de la regulile diviziunii celulare. Ovocitele de ordinul I, având 2n cromozomi (44 + XX), încep o diviziune reducţională (meioză), dar după prima fază a acestei diviziuni procesul se blochează şi nu se reia decât la pubertate. Această blocare se numeşte dictioten. Ca urmare, copilul de sex feminin se va naşte cu 700 000 - 1 200 000 foliculi primordiali, conţinând fiecare câte un ovocit I la început de meioză.

La pubertate, ovogeneza se reia. Lunar, câte un ovocit I în momentul ovulaţiei foliculului matur se transformă în două celule: o celulă mare cu multă citoplasmă, ovocit de ordinul II, şi o celulă mică, primul globul polar. Ambele au garnitură haploidă de cromozomi, dar numai ovocitul II este fecundabil. Ovocitul de ordinul II este expulzat din ovar, captat de franjurile trompei uterine şi în acest timp se mai divide o ultimă dată mitotic, rezultând un preovul (22 + X) şi al doilea globul polar (22 + X). Preovulul se transformă fără diviziune în ovul, care îşi continuă drumul prin trompă spre uter. Ovulul este gametul feminin. Rezultă că ovogeneza, cu excepţia primelor două etape, nu duce la multiplicarea ovulelor.

**Ovulația** este procesul de rupere a foliculului matur și de expulzare a ovulului (în realitate a ovocitului II). Are loc lunar, în ziua a 14-a a ciclului menstrual.

**Ciclul menstrual.** Funcția gonadei feminine este ciclică, spre deosebire de cea a gonadei masculine care este continuă. Ciclul menstrual reprezintă o serie de modificări ciclice, care se petrec la nivelul ovarului și al aparatului genital feminin și se datorează unor variații ciclice în secreția de hormoni gonadotropi hipofizar, controlate de la nivel hipotalamic. Evenimentul ciclic cel mai evident este pierderea lunară de sânge (35 - 60 ml) (vezi funcția endocrină a ovarului).

**Fecundația** este procesul de contopire a materialului genetic masculin cu cel feminin. Se realizează prin pătrunderea capului spermiei în ovul. Are loc în primele zile după ovulație, în timp ce ovulul străbate trompa uterină. Prin fecundare, ovulul devine ou, cu set complet de cromozomi, și începe să se dividă. Între timp, oul, ajuns în cavitatea uterină, se va fixa în profunzimea mucoasei, proces numit nidație. Aici se va forma un organ special, numit placentă, cu rol nutritiv pentru produsul de concepție și cu rol endocrin. Produsul de concepție se dezvoltă în cavitatea uterină până în luna a 9-a, când este expulzat prin actul nașterii. Placenta, ca glandă endocrină, secretă hormoni gonadotropi, care întrețin activitatea corpului galben, și hormoni estrogeni și progesteron necesari evoluției normale a sarcinii.

## PROPRIETĂȚILE CELULEI

Celulele au o serie de proprietăți generale și speciale care le asigură îndeplinirea rolului specific în ansamblul organismului.

Proprietățile celulare generale se întâlnesc la orice sistem viu. Acestea sunt: metabolismul, înmulțirea, mișcarea și iritabilitatea.

Proprietățile celulare speciale se întâlnesc numai la anumite categorii de celule, adaptate pentru îndeplinirea unor funcții particulare.

Aceste proprietăți sunt: excitabilitatea, contractilitatea, activitatea secretorie și fagocitoza. Majoritatea acestor proprietăți vor fi tratate la capitolele corespunzătoare (metabolismul, glandele cu secreție internă, sângele, țesutul muscular etc.).

EXCITABILITATEA

Unele celule din organism (celule nervoase, musculare și glandulare) prezintă proprietatea de a răspunde la un stimul din afară printr-o serie de manifestări caracteristice. Această proprietate a primit denumirea de excitabilitate, pentru a o deosebi de iritabilitate, care este o proprietate generală a tuturor structurilor vii de a suferi modificări sub acțiunea unor factori externi. Exemplu de iritabilitate este bronzarea pielii sub acțiunea radiațiilor ultraviolete. În cazul excitabilității, relația stimul - răspuns are o serie de caracteristici:

- răspunsul este prompt și ușor observabil;
- răspunsul este același, indiferent de natura fizică a stimulului;
- peste o anumită valoare a agentului excitant, mărimea răspunsului nu mai depinde de mărimea stimulului.

Stimulul sau excitantul poate fi orice variație energetică din mediul înconjurător (mecanică, electrică, termică, fotonică, chimică etc.).

**Biofizica excitaţiei**

La baza excitabilităţii celulare se află proprietăţile speciale ale membranei acesteia (polarizarea electrică, permeabilitatea selectivă, pompele ionice etc.).

**Potenţialul de repaus**. Cercetările cu microelectrozi implantaţi în interiorul celulei au arătat că, în repaus, interiorul celulelor excitabile este negativ în raport cu mediul pericelular. Diferenţa de potenţial dintre cele două feţe ale membranei a fost măsurată cu osciloscopul catodic; ea are valoarea de -90 mV (cu variaţii în funcţie de tipul celulei) şi se numeşte potenţial de repaus (PR). Orice creştere a negativităţii interioare sau pozitivităţii exterioare măreşte PR, adică hiperpolarizează membrana, iar modificarea inversă duce la scăderea PR, adică la depolarizare. Prin hiperpolarizare, celulele devin mai puţin excitabile, iar prin depolarizare parţială devin mai excitabile.

La baza polarizării de repaus se află structura şi funcţiile membranei celulare, care generează şi menţin o diferenţă de compoziţie electrolitică între lichidul celular şi cel extracelular. Principalii electroliţi implicaţi în excitabilitate sunt: $K^+$, $Na^+$, $Ca^{2+}$, $Cl^-$. Repartiţia lor în cele două sectoare (celular şi extracelular) este asimetrică. $Na^+$ este de 100 de ori mai concentrat în afara celulei, iar $K^+$ este de 30 de ori mai concentrat în interiorul ei. Diferenţa de concentraţie a unui elecrolit în cele două medii apoase reprezintă gradientul chimic al acelui element. Conform legilor difuziunii, fiecare substanţă se deplasează pasiv, în gradient chimic, din sectorul cu concentraţie mare spre cel cu concentraţie mai mică. $K^+$ va părăsi celula, iar $Na^+$ o va invada, până la anularea gradientelor, ducând la moartea celulei. Fluxul de ioni prin membrană este reglat însă de proprietăţile acesteia (permeabilitate selectivă, conductanţă electrică şi pompe ionice).

Prin conductanţă (g) se înţelege atitudinea unei membrane încărcate electric faţă de fluxul transmembranar. Fiecare ion se mişcă prin membrană conform conductanţei sale. În repaus, membrana are o conductanţă foarte scăzută pentru $Na^+$ şi crescută pentru $K^+$. Ca urmare, se produce o ieşire a potasiului din celulă, al cărei interior devine negativ. Când valoarea potenţialului negativ intracelular devine suficient de mare (-90 mv), aceasta frânează ieşirea în continuare a ionilor de $K^+$. Se stabileşte astfel un echilibru de difuziune pasivă a $K^+$ prin membrană, la o diferenţă de potenţial de -90 mV şi o diferenţă de concentraţie a $K^+$ extracelular - $K^+$ intracelular de 1/30. Se spune că potenţialul de repaus este un potenţial de $K^+$, el fiind generat de distribuţia pasivă a $K^+$ în gradientul său electrochimic (gradientul electric + gradientul de concentraţie chimică). La menţinerea gradientului chimic participă şi mecanisme active cu sediul în membrană, denumite pompe ionice. Astfel, există pompa cuplată de $Na^+/K^+$, a cărei activitate constă în eliminarea continuă a ionilor de $Na^+$ ce pătrund lent în celulă şi recaptarea ionilor de $K^+$ ce părăsesc celula.

Pompele de Na/K reprezintă transport activ, ce necesită consum de energie din partea celulei şi activitate enzimatică cu sediul în membrană. Potenţialul de repaus poate fi modificat pasiv sau activ. Pasiv, prin aducerea de sarcini negative pe faţa externă a membranei se anulează o parte din sarcinile pozitive şi PR scade, având loc depolarizarea. Dacă sarcinile negative sunt aduse pe faţa internă a membranei, PR creşte şi are loc hiperpolarizarea. Aceleaşi modificări pasive, dar de sens opus pot fi obţinute prin adaus de sarcini pozitive.

Activ, potenţialul de membrană poate fi modificat prin schimbarea conductanţelor membranei faţă de diferiţi ioni. Prin creşterea $gK^+$ se permite o ieşire suplimentară a $K^+$, iar membrana se hiperpolarizează. Scăderea $gK^+$ are consecinţe opuse. Creşterea $gNa^+$ depolarizează

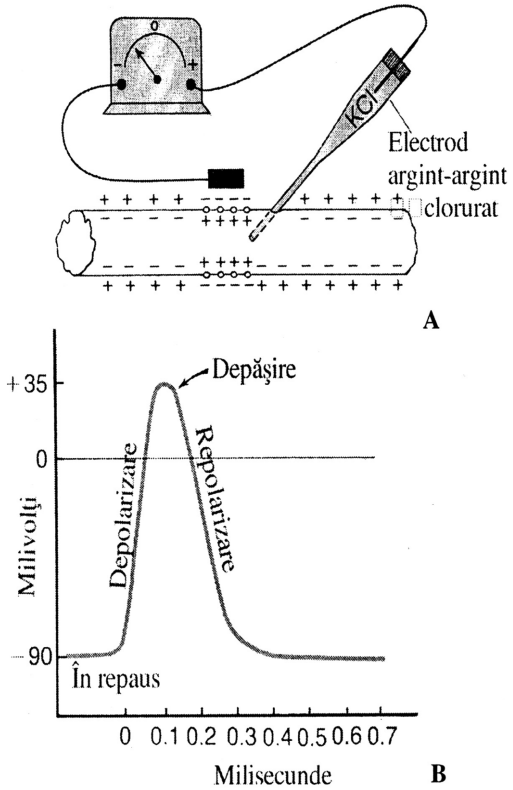


**Fig. 3. Potențialul de acțiune**
**A- Măsurarea potențialului de membrană la nivelul nervului, prin utilizarea unui microelectrod.**
**B- Reprezentarea grafică a variațiilor de potențial al membranei în timpul unui potențial de acțiune tipic al nervului.**

membrana ș.a.m.d. Concentrația $Ca^{2+}$ este de mii de ori mai mare în lichidul extracelular. Acest ion intervine în special în cuplajul excitație - contracție și cuplajul excitație - secreție.

**Potențialul de acțiune (PA)**. Constă în variații rapide ale potențialului de membrană. Fiecare potențial de acțiune începe cu o trecere bruscă de la un potențial de membrană negativ la un potențial de membrană pozitiv și se termină cu revenirea aproape tot așa de bruscă la potențialul negativ. În figura 3A sunt prezentate perturbările survenite la nivelul membranei în timpul PA, care începe cu transferul de sarcini pozitive spre interiorul membranei și sfârșește cu revenirea sarcinilor pozitive la exteriorul membranei. În figura 3B sunt redate grafic variațiile succesive ale potențialului de membrană pe parcursul câtorva zecimi de milisecunde, ilustrând caracterul exploziv al începutului potențialului de acțiune, precum și revenirea aproape tot așa de rapidă la valoarea potențialului de repaus. Fazele succesive ale PA sunt următoarele:

***Faza de repaus***. Aceasta reprezintă potențialul membranar de repaus, fiind premergătoare potențialului de acțiune. Se spune că în această fază membrana este "polarizată", din cauza mărimii potențialului său negativ.

***Faza de depolarizare***. În această fază, membrana devine foarte permeabilă pentru ionii de sodiu, acceptând pătrunderea în celulă a unui număr enorm din acești ioni. Starea "polarizată" normală de -90 mV se pierde, potențialul crescând rapid spre valori mai puțin negative. Aceasta reprezintă depolarizarea.

***Faza de repolarizare***. La câteva zecimi de milisecundă de la momentul creşterii permeabilităţii membranei pentru ionii de sodiu, canalele de sodiu încep să se închidă, în timp ce canalele de potasiu se deschid mai mult decât în mod normal. Se produce o difuziune rapidă la exterior a ionilor de potasiu, care va restabili potenţialul membranar negativ normal de repaus. Acesta reprezintă procesul de repolarizare a membranei.

Pentru a explica mai complet factorii cauzali ai proceselor de depolarizare şi repolarizare este necesar să se ţină cont de caracteristicile speciale ale canalelor de transport prin membrana celulară: canalele de sodiu şi de potasiu voltaj-dependente.

Este necesar de arătat că, pentru apariţia PA, intensitatea stimulului aplicat trebuie să aibă o anumită valoare, numită "prag", care să determine modificarea PR până la o valoare critică, fapt ce permite apariţia ulterioară a PA.

Excitanţii subliminari (cu intensitate sub valoarea "prag") nu reuşesc o depolarizare până la acel prag critic. Amplitudinea totală PA este de 120 mV ( (-90) - (+30) ). Ea nu creşte chiar dacă folosim stimuli şi mai puternici decât cel folosit anterior. Aceasta este legea "**tot sau nimic**". Totodată se constată că excitanţii subliminari nu rămân total fără efect. Ei produc depolarizări tranzitorii, locale, nepropagate, cu valoare proporţională cu intensitatea stimulului, deci contra legii "tot sau nimic". Aceste depolarizări locale se pot suma prin stimulare cu frecvenţă mare şi intensitate sub prag, putând duce la declanşarea unui potenţial de acţiune "tot sau nimic", propagat. PA reprezintă o caracteristică esenţială a răspunsului celulei la acţiunea unui excitant. De aceea, excitabilitatea poate fi definită ca proprietatea acelor celule care răspund la un stimul printr-un PA. PA se datorează variaţiilor ce survin în conductanţele ionice ale membranei. În momentul când excitantul a produs depolarizarea pasivă până la pragul critic are loc o creştere bruscă a $Na^+$. Se produce un influx rapid de $Na^+$, care anulează potenţialul negativ interior, încărcând celula cu sarcini pozitive. În acest moment s-a atins vârful potenţialului de acţiune. Ionii de $Na^+$ încetează să mai pătrundă în celulă atât din cauza respingerii lor de către potenţialul pozitiv endocelu-lar, cât mai ales din cauza revenirii $gNa^+$ la valori scăzute. Imediat are loc o creştere a $gK^+$ peste valoarea de repaus, determinând un eflux important de $K^+$, responsabil de panta descendentă a PA. Intrarea $Na^+$ în celulă produce depolarizarea, iar ieşirea $K^+$ repolarizarea. După încetarea acestor fluxuri ionice membrana redobândeşte configuraţia electrică de repaus, dar celula are o compoziţie chimică diferită. A primit un supliment de $Na^+$ şi a pierdut o cantitate echivalentă de $K^+$. Restabilirea compoziţiei chimice de repaus are loc în următoarele 100 milisecunde, graţie intensificării activităţii pompei cuplate de Na/K. Pe durata PA, membrana este inexcitabilă (refractară), dar poate fi excitată după fiecare repolarizare, cu sute de stimuli pe secundă. Stimularea pe durate de zeci de minute cu asemenea frecvenţe nu lasă timp suficient de acţiune pompelor ionice, fapt ce determină instalarea oboselii membranei. La excitabilitate participă şi ioni de calciu şi clor, mai ales în celulele musculare cardiace.

**Parametrii excitabilităţii**

Excitabilitatea poate fi apreciată cantitativ prin determinarea unor mărimi fizice ale excitantului; acestea sunt: 1. pragul de excitabilitate; 2. timpul util; 3. cronaxia; 4. bruschețea.

**Pragul de excitabilitate**. Intensitatea minimă necesară unui excitant pentru a produce un răspuns se numeşte curent "prag" sau reobază. Curenţii cu intensităţi mai mici ca reobaza (excitanţi subliminari) nu excită, iar curenţii cu valoare mai mare ca reobaza (excitanţi

supraliminari) produc un răspuns identic cu cel al curenților prag. Se spune că celulele excitabile respectă legea "tot sau nimic". Reobaza caracterizează bine excitabilitatea unui țesut. Cu cât este mai excitabil, cu atât reobaza este mai mică, deci pragul este mai coborât.

**Sumația**. Stimularea unei celule cu curenți subliminari, dar cu frecvență crescută, poate produce excitația. Aceasta ar contrazice legea "tot sau nimic". Explicația fenomenului este următoarea: fiecare stimul sub prag produce la nivelul membranelor excitabile o serie de modificări locale. Aceste modificări dispar la scurt timp după încetarea acțiunii stimulului. Dacă un nou stimul apare înainte de a se șterge modificarea locală anterioară, celula însumează modificările produse de stimulii succesivi până se realizează un răspuns vizibil.

**Timpul util**. Pentru a excita celula, stimulul prag trebuie să acționeze asupra membranei un interval de timp suficient de mare, variabil în funcție de tipul celular. Timpul minim necesar unui stimul de valoarea reobazei pentru a excita se numește timp util. Valoarea sa este foarte diferită și nu poate fi utilizat drept criteriu de judecată în aprecierea normalului sau patologicului.

**Cronaxia**. Cercetându-se corelația dintre intensitatea și durata curentului excitant s-a constatat că, la intensități de valoarea dublului reobazei, timpul minim necesar diferă foarte puțin de la o celulă la alta, în condiții normale. S-a denumit cronaxie timpul minim necesar unui curent cu valoarea dublului reobazei pentru a excita. Cronaxia este de ordinul fracțiunilor de milisecundă (0,5 - 1 ms) și este cu atât mai mică cu cât țesutul este mai excitabil. Nervii motori și mușchii pe care-i comandă au cronaxii apropiate, iar cronaxia nervilor senzitivi nu diferă mult de a nervilor motori. Mușchii au, în general, cronaxii și reobaze ceva mai mari ca nervii motori corespunzători. În condiții de surmenaj și oboseală, raportul valorilor reobazei și cronaxiei nervilor și mușchilor se poate inversa. Cronaxia este de zeci de ori mai scăzută ca timpul util.

**Bruschețea**. Dacă facem să crească progresiv intensitatea unui stimul spre valoarea de prag, acesta nu mai excită, chiar dacă depășește pragul, și durează mai mult decât timpul util. De aici rezultă că, pentru a excita, curentul de intensitatea reobazei trebuie să se instaleze suficient de brusc. În cazul curenților lent-crescători, pragul de excitabilitate al celulei crește paralel cu creșterea intensității excitantului și celula nu răspunde. Membrana celulară s-a acomodat la stimul. Acomodarea este una din explicațiile fenomenului de adaptare a receptorilor ce va fi descris în capitolul consacrat analizatorilor.

CONTRACTILITATEA

Unele celule (musculare) au proprietatea de a transforma energia chimică a unor compuși în energie mecanică. Detalii despre mecanismul contracției vor fi prezentate în capitolul "Fiziologia mușchilor".

ACTIVITATEA SECRETORIE

Fiecare celulă sintetizează substanțele proteice și lipidice proprii necesare pentru repararea uzurilor, pentru creștere și înmulțire. Unele celule s-au specializat în producția de substanțe pe care le "exportă" în mediul intern (secreție endocrină) sau extern (secreție exocrină).