

6. NUCLEUL INTERFAZIC

A fost observat de **Leeuwenhoek**, fiind descris de **Fontana**, **Cavoli**. Abia în 1830 **Brown** și **Mirbel** stabilesc că nucleul este un constituent constant al celulei.

Nucleul este cunoscut esențial în celulele eucariotele, fără de care existența lor ar fi compromisă. ADN-ul cromozomilor este astfel organizat încât o parte din secvențele de baze purinice și pirimidinice reprezintă codul după care sunt transcrise diferite mesaje sub formă de ARN_m.

Secvențele de baze purinice și pirimidinice se păstrează de-a lungul generațiilor de celule datorită replicării semiconservative a ADN cromozomilor și tot în nucleu au loc sintezele diferitelor ARN-uri care, trecând în citoplasmă, constituie așa numitul aparat de biosinteză proteică.

Nucleul este alcătuit dintr-un înveliș, o matrice internă, cromatina și unul sau mai mulți nucleoli. El există în toate celulele organismelor eucariote (protiste, animale, plante), mai puțin la eritrocitele vertebratelor superioare unde este eliminat printr-o exocitoză în cursul eritropoezei. Procariotele au ADN sub formă de nucleozomi (bacterii, alge albastre-verzi).

Ca formă nucleul este de obicei sferic, în celule poliedrice sferice sau elipsoidal în celule fuziforme, discoidal în celule pavimentoase, lobulat la unele celule secretoare și foarte neregulat la celule sericigene. În general, forma nucleului reflectă activitatea celulei; astfel, în celule hiperactive nucleul capătă o formă neregulată, cu incizuri care-i măresc suprafața de schimb cu citoplasma.

Ca volum, nucleul poate varia de la un tip de celulă la altul. De asemenea, nici poziția lui nu este fixă pentru același tip de celulă. Ca mărime, celulele glandelor salivare au nucleii mici, pe când neuronii multipolari, piramidali Betz au nucleii voluminoși. Datorită diferențelor de volum ai nucleilor diferitelor țesuturi, dar și pentru că la același tip celular dimensiunea nucleului este în funcție de mărimea celulei, s-a putut defini un raport nucleoplasmatic (RNP) :

$$\text{RNP} = \frac{\text{volum nuclear}}{\text{volum celular} + \text{volum nuclear}}$$

care variază mult în cursul embriogenezei și depinde de numărul de cromozomi, adică de gradul de ploidie. Celulele poliploide au nucleii mult mai mari decât cele diploide. Înaintea profazei RNP crește deoarece materialul cromozomial se dublează. Dar creșterea RNP exprimă uneori și o activitate metabolică datorită măririi cantității de proteine matriceale intercromatinice. Astfel, în faza elaborării hormonilor glandelor endocrine, RNP crește datorită creșterii în volum a nucleului.

De regulă celulele nu au decât un singur nucleu însă, de multe ori, când diviziunea nucleului nu este urmată și de aceea a celulelor, apar celule multinucleate

La majoritatea celulelor nucleul ocupă o poziție centrală dar ovocitele pline cu vitelus se află, după maturare, la polul apical înconjurat de o zonă citoplasmatică fără granule de vitelus.

Acumularea picăturilor de lipide împinge nucleul la periferie, după cum în celulele cu granule de zimogen nucleul se află în mijlocul masei citoplasmatică, iar granulele se află în mijlocul masei de ergastroplasmă.

Cantitatea relativă de ADN corespunde de asemenea la patru tipuri de nucleu: di-, tetra-, hexa-, octoploizi; suprafața nucleului este în raport cu cantitatea de ADN, respectiv cu gradul de ploidie. Modificarea genomurilor este consecutivă cu modificările cantitative de histone, proteine acid, ADN și ARN conținute în nucleu.

Raporturile

ADN și histone _____ rămân constante ;
nucleu nucleu

S-a constatat însă, că ceea ce determină creșterea volumului nucleilor ca și starea diferențierii celulare sunt proteinele acide. Funcția fiziologică a țesutului respectiv determină volumul nucleilor și al celulelor.

În asemenea categorie de exemplu cităm glanda medio-intestinală de la moluște.

Totuși, în marea majoritate a cazurilor volumul nucleului și al cantității de ADN este constantă de țesut pentru o anumită specie. Ceea ce deosebește nucleii este cantitatea de apă și proteine acide care variază după starea fiziologică a celulei.

Hertwig a arătat că odată cu mărirea volumului citoplasmei crește și volumul nucleului, existând un raport fix (K) pentru fiecare tip de celulă între volumul nuclear și al citoplasmei.

Dacă raportul este modificat prin mărirea volumului citoplasmei, nucleul intră în diviziune. El este în funcție de hrană, de fosforilare oxidativă, de integritatea catabolismului, de factorii de creștere, de toți factorii care măresc activitatea metabolică, în consecință volumul citoplasmei.

$$K = \frac{V}{V_c - V_n}$$
, în care : V_c = volumul citoplasmei și V_n = volumul nucleului

Raportul nucleoplasmatic este cuprins între $\frac{1}{z}$ și $\frac{1}{10}$ cu limite extreme $\frac{1}{2}$ și $\frac{1}{20}$

La rândul său, raportul nucleoplasmatic influențează ritmul diviziunilor, îmbătrânirea și degenerare fiziologică a celulei..

Dacă la o cultură din alga *Polytomella* se adaugă sulfamidă, aceasta blochează diviziunile iar flagelatul crește de opt ori. O asemenea creștere anormală afectează atât citoplasma, cât și nucleul și poate fi oprită prin adăugarea de vit.B,

când nucleul și citoplasma revin la volumul lor normal și flagelatul își reia diviziunile.

6. 1. Membrana nucleară

Acesta separă cromozomii de hialoplasmă, izolând în interfază, într-un meiu special, materialul genetic cromozomial. Existența unei birefringente, la suprafața de separație dintre nucleu și hialoplasmă a fost interpretată până nu demult ca o probă a existenței unei duble membrane, într-o vreme când nu exista microscopie electronică.

În epoca microscopiei fotonice s-au adus dovezi asupra existenței unei membrane nucleare: faptul că nucleul poate fi extras cu acele microdisectorului, s-au pipetat dintr-o celulă în alta în cadrul experiențelor cu grefe de nucleu.

Callan și Tomlin (1950) au izolat membrane nucleare din oocitele de amfibieni, le-a examinat la microscopul electronic, au observat că sunt duble cu pori și groase 500 Å.

Hartmann (1953) a stabilit definitiv că învelișul nuclear este constituit din două membrane groase de 80 Å delimitând un spațiu perinuclear între 200-700 Å.

Watson (1955-1959) a marcat pentru prima dată o continuitate între membrana nucleară externă și ergastoplasma. Această continuitate este plauzibilă și prin faptul că membrana nucleară externă, ca și reticulul endoplasmatic poartă ribozomi. Cu alte cuvinte, spațiul perinuclear comunică cu cavitatea ergastoplasmei și de aceea a fost denumit "cisternă" perinucleară. Unii cred că și membrana celulară comunică cu ergastoplasma astfel, că nucleul înconjurat de spațiu perinuclear, este de fapt în raport prin intermediul cisternelor cu reticulul endoplasmic și cu mediul exterior.

Porii care străbat dubla membrană nucleară sunt în medie de 10-100/ μ^2 și au diametru 300-1000 Å

Feldherer (1965) consideră că numai particulele mai mici de 160 Å pot trece din nucleu în citoplasmă, foarte încet și prin mijlocul porilor.

Aminoacizii și alte substanțe nutritive trec ușor din citoplasmă în nucleu, printr-un transport activ, în timp ce structurile ce conțin ARN trec în sens invers, din nucleu în citoplasmă. Deci, acești pori sunt structuri specializate prin care se realizează trecerea metaboliților prin centrul porilor și în diferite direcții după felul substanțelor transportate.

Uneori porii nu au un contur circular ci octogonal, de Ø. 650-700 Å. Fiecare por cuprinde un **material inelar**, o **diafragmă**, un **granul central** și un **material fibrilar**. Materialul inelar cuprinde 8 particule sferice proteice de cca 200 Å Ø așezate pe fiecare față a porului; acest material își modifică structura în funcție de metabolismul celular. Dilatările și contracțiile porilor se explică prin adăugarea, respectiv pierderea proteinelor constitutive ale inelului. Diafragma este o substanță densă, amorfă, din interiorul porului, care se întinde spre centru lui, unde se află un granul central riboproteic de 250 Å Ø. De ele se leagă fibrile de

50 Å Ø, care fac legătura cu particulele sferice interne și externe ale porului. O fibrilă încercuiește lumenul porului la interior, solidarizând astfel materialul fibrilar.

A

B

Fig.28. Ultrastructura membranei nucleare și a unui por secționat transversal (A) și median (B) paralel cu fețele membranei.

Membrana nucleului, la vertebrate este o împâslire de fibre fine, groase de cca 200-600 Å, care menține rigiditatea nucleului. Studiind raporturile învelișului nuclear, se observă că membrana externă, citopasmatică, dezvoltă prelungiri scurte și chiar tubuli care fac legătura cu reticulul endoplasmatic. De altfel, aria externă a nucleului este acoperită cu ribozomi; în plus, în multe cazuri apar aglomerări juxtancleare de mitocondrii furnizoare de energie. Datorită grosimii sale, plasată sub puterea rezolvantă a microscopului fonic, membrana nucleului este invizibilă la acest microscop. Însă o parte din cromatină este dispusă sub membrana nucleului, astfel că pe secțiunile din țesuturi colorate cu hemalaun-eozină, liziera de cromatină periplasmatică apare colorată, indicând limita externă a nucleului. Cromatina se mai ancorează și la exteriorul inelelor și chiar de granulele centrale. Totalitatea acestor fibre de cromatină constituie cromatina perinucleară.

Rolul membranei nucleare a fost studiat prin stabilirea presiunii osmotice și prin microinjecții în celule intacte. S-a stabilit că numai ionii și substanțele cu o masă moleculară mică (sub 500) pot să treacă prin membrana nucleară. Sunt însă macromolecule ca ribonucleaza, ARN, histone care trec ușor din nucleu în citoplasmă. Ionii de Na^+ se acumulează ușor în nucleu, pe când ionii de K^+ rămân în citoplasmă. Cu ajutorul microelectrozilor s-a evidențiat existența

de sarcini + pe fața externă și – pe fața internă. Modalitățile trecerii frontierei nucleare sunt multiple:

- în unele cazuri prin distrugerea unei mici porțiuni de membrană.
- în alte cazuri (celule secretoare) prin înmugurirea învelișului în citoplasmă se realizează trecerea unor metaboliți în exteriorul nucleului.

Zbarski a arătat că cele două foite nucleare au activități enzimatiche diferite și de multe ori acumulează în spațiul perinuclear substanțe care apoi sunt vehiculate în afară sau în interiorul nucleului.

- trecerea prin pori are loc întotdeauna prin centrul lor datorită inelelor care se leagă de materialul transportat, care favorizează acest proces de tranzit.

Învelișul nuclear mai are rol și în formarea **lamelor inelate**. În telofază, când are loc refacerea membranei nucleare pe seama reticulului endoplasmatic, rămâne un surplus de membrane endoplasmatiche fie incluse în nucleu, fie în citoplasma din jurul acestuia. Membranele respective se dispun paralel și nu mai participă la reconstrucția învelișului nuclear din cauza rapidității ciclului celular. Asemenea membrane inelate se află, de obicei, în celulele embrionare și sexuale cu cicluri celulare scurte. În interfază, membrana externă înmugurește spre citoplasmă vezicule care ulterior se desprind și se unesc formând lamele inelare sau cisterne Golgi.

6. 2. Matricea nucleului

Reprezintă o structură proteică formată din rețea de fibrile foarte strânse și fine, care umplu complet spațiile dintre blocurile mai mari sau mai mici sau mai mari de cromatină. Matricea poate fi văzută la microscopul fonic prin tratarea culturilor celulare cu alfa-amanitină. Acest alcaloid produce în două ore contracția cromatinei și separarea matricei de aglomerări de cromatină.

Compoziția chimică a matricei relevă 87 % proteine, 12 % fosfolipide, 1 % ADN și 1% ARN. Proteinele separate prin electroforeză în strat subțire de gel s-au dispus în 30-35 bnci cu mase moleculare între 14.000 – 200.000.

Matricea este reprezentată prin două clase de peptide majore, cu o masă moleculară cuprinsă între 14.000 - 18.000 și respectiv 45.000- 75.000.

Cercetările de histochimie electronmicroscopică, combinate cu analiza electroforetică a proteinelor matriceale, au permis fundamentarea **teoriei fibrilare a matricei nucleare. (D.Comings și T.Okada, 1978).**

Electronmicroscopic, matricea nucleară este compusă din fibrile proteice de 20-30Å, denumite, generic **matrixină**. Ele se asociază în fibre mai groase de 100- 300 Å. Peste tot matrixina se leagă de fibrile de cromatină, ea având rol principal în organizarea acestor fibre în cromomerele cromozomilor mitotici și meiotici..

Cromatina reprezintă forma interfazică a materialului genetic nuclear.Ea este alcătuită dintr-un ansamblu complex de ADN, proteine și mici cantități de

ARN. La microscopul optic cromatina se observă ca niște granule mici, fine, slab colorate, printre care se găsesc corpusculi, mai condensati și mai intens colorati numiti cromocentri, ei fiind parti din cromozomi care nu s-au despiralizat în interfază. Cele două forme ale cromatinei, deosebite, inițial prin gradul de spiralizare și colorare au fost denumite de **Heitz**, 1928) eucromatină și heterocromatină. Studiile ulterioare au precizat și alte diferențe de compoziție și activitate genetică.

Eucromatina este puțin condensată și colorată, are mult ADN nerepetitiv și hertone, se replică precoce în faza S și este activă.

Heterocromatina este de două feluri: constitutivă și facultativă.

Prima reprezintă o caracteristică structurală permanentă a tuturor celulelor, în orice perioadă genetică. Cantitatea și localizarea ei variază de la o persoană la alta, fără să se modifice fenotipul deoarece este inactivă genetic. Heterocromatina facultativă apare în stadii diferite de dezvoltare, în diferite celule la sexe diferite. Exemplu **cromatina sexuală**.

Aceasta reprezintă un cromocentru cu particularități morfologice bine definite, care permite stabilirea sexului. La femei se prezintă sub forma cromatinei X sau corpusculului Barr, condensat și puternic colorat, de cca un μ lipit pe suprafața internă a membranei nucleare, de formă ovală. Aceasta rezultă în inactivarea cromozomului X de la femei XX.; la bărbat corpusculul Barr lipsește..

Deși heterocromatina este considerată inactivă genetic, ea pare să joace un rol important în organism, se pare că are rol în procesele de reglare genetică și desfășurarea diviziunii celulare

6. 3. Nucleolul

Este locul unde se aglomerează ARN cu masă moleculară mare, care se formează prin transcripția pe o anumită porțiune a unui cromozom, denumită **organizator nucleolar**.

Nucleolii produc ARN_r (40 S și 30 S), care vor da 28 și 18 ARN_r , ARN_t sau ARN_s cu masă moleculară mică: 5 S ARN , 7 S ARN , ARN bogat în acid uridic, precum și un ARN_m necesar sintezei proteinelor și enzimelor nucleolare sunt transcriși pe cromozomi.

Observat pe viu, în contrast de fază, nucleolul are o culoare gălbuie, care-l delimitează net de restul conținutului nuclear. De regulă, în celulă se găsesc unul sau doi nucleoli de formă sferică sau neregulată. În culturi celulare vii se poate observa cum nucleolii se deplasează și își schimbă încet forma, venind din când în când în contact cu membrana nucleară. În unele tipuri de celule, în interiorul lor apar granule mai mici – **nucleolini** mai mult sau mai puțin grupate, cu aspectul unei rețele, care de asemenea se modifică în timp. Alteori conțin și o vacuolă tranzitorie. Când se modifică metabolismul respirator prin dinitrofenol, la culturile de celule, nucleolul se alipește de membrana nucleară și scade în volum..

Izolarea în stare cât mai bună a nucleolilor a permis o analiză chimică precisă: ADN 3- 18 % (inclusiv cromatina asociată organizatorului nucleolar), ARN 3- 13 %, proteine 82-97 %, precum și o serie de enzime.

ARN se află sub formă de granule și fibrile ce par contrastante în urma fixării cu tetraoxid de osmiu și colorării cu uraniu și plumb, iar ADN este prezent în mănunchiurile de fibre care pătrund în nucleol din cromatina asociată lui.

Proteinele constituie o matrice de fibrile foarte fine în care se află componentele cu ARN. Atât ADN, cât și ARN încorporează precursori marcați.

În multe celule se observă la microscopul electronic o **nucleolonemă**, formată din elemente fibrilare care anastomozează, depunându-se într-o masă mai mult sau mai puțin compactă. Ea este formată din ARN și este localizată într-o matrice amorfă. Printre nucleolonemă se găsesc arii luminoase de diferite mărimi. Structurile cu ARN apar granulare și fibrilare în unele cazuri, cu granule periferice și fibrele în nucleolonema centrală; în alte cazuri, nucleolonema fibrilară este dispusă la periferia nucleolului. Cromatina poate pătrunde în acest tip de nucleoli formând septe marginale.

Alt tip de nucleoli se prezintă compact, fără nucleolemă și cu distribuție uniformă a structurilor ce conțin ARN. Acest aspect îl au celulele tratate cu actinomycină-D sau tioacetamidă, ca și corpii nucleolici din cursul mitozei.

Al treilea tip de nucleoli este acela cu înveliș de ARN și proteine care include un miez de fibrile. Se întâlnește la mamifere, ca rezultat al maturării și diferențierii celulare; miezul este tocmai materialul cromozomic nucleolar, care în telofaza tumorii ascitice Ehrlich, persistă împreună cu învelișul de ARN. Ca enzime s-au evidențiat o ribonuclează liberă, sintetaza acidului poliriboadenilic și NAD-pirofosforilaza implicată în repararea ADN.

Nucleolul își dublează masa în timpul pregătirii mitozei.

6. 4. Mitoza

Reprezintă un comportament al cromozomilor care asigură în esență repartizarea exactă a cromozomilor astfel încât celulele fiice dețin o informație genetică identică cu a celulei mame.

În organismul uman se produc mai mult de un milion de mitoze per secundă și 10^{16} diviziuni celulare pe parcursul vieții.

Fazele mitozei sunt: interfaza, profaza, metafaza, anafaza și telofaza.

Interfaza

Este etapa cea mai lungă din viața unei celule. În celula în interfază se poate observa nucleul cu membrană nucleară, cariolimfa, cromatina sub forma unui sistem reticular puternic colorat cu coloranți bazici și unul sau mai mulți nucleoli. Cromatina prezintă din loc în loc condensări de substanță cromatică-cromocentrii.

Interfaza este cea mai activă perioadă a metabolismului celular ; în interfază au loc:

- sinteze proteice
- biosinteză de ADN și ARN

Cromozomii sunt prezenți sub formă de filamente cromatice lungi și subțiri. Filamentele cromatice nu sunt altceva decât cromozomi puternic despiralați.

Profaza

Este cea mai lungă etapă a diviziunii celulare. În această fază, fibrele de cromatină se condensează treptat devenind cromozomi profazici. Fiecare cromozom este format din două filamente numite cromatide unite la nivelul centromerului. Cromatidele se spiralizează treptat fapt ce determină îngroșarea și scurtarea lor progresivă. Poziția cromozomilor în cariolimfă este întâmplătoare. Spre sfârșitul profazei cromozomii se îndepărtează unii de alți și ajung la marginea membranei nucleare care încep să se dezorganizeze după care se dezorganizează și nucleolii.

La sfârșitul profazei scurtarea și îngroșarea cromozomilor este maximă, unii dintre ei putând să devină de 25 de ori mai scurți decât la începutul profazei.

Profaza se încheie în momentul în care membrana nucleară s-a destrămat și carioplasma se amestecă cu citoplasma formând mixoplasma care are o fluiditate mai mare ce permite deplasarea mai ușoară a cromozomilor.

Centrozomul (organit celular) se divide în două și pe fiecare din cei doi centrozomi nou rezultați se formează niște microtubuli de formă stelară.

Microtubulii sunt formați din tubulină. Ei se unesc și formează un fus nuclear. Rolul fusului este de a permite mișcarea cromozomilor în cursul diviziunii celulare.

La sfârșitul profazei în dreptul fiecărui cromozom, la nivelul centromerului apar complexe proteice care formează kinetocorul. Acesta intră în contact cu microtubulii aparatului fusiform. Microtubulii determină atracție asupra cromozomilor și îi pun în mișcare.

Prometafaza

În prometafază are loc deplasarea cromozomilor către centrul fusului de diviziune.

Metafaza

În metafază cromozomii se ordonează în zona ecuatorială și se prind cu centromerul de filamentele fusului de diviziune formând placa ecuatorială sau metafazică.

În această fază cromatidele surori ale fiecărui cromozom bicromatidic se separă după un plan longitudinal și rămân unite doar la nivelul centromerului.

Anafaza

În anafază separarea este totală, inclusiv la nivelul centromerului fapt ce are ca rezultat formarea cromozomilor unicromatidici. Fiecare cromatidă se va

deplasa cu centromerul înainte către un pol al celulei. Cromozomii unicromatidici sunt identici ca informație genetică.

Telofaza

Telofaza începe odată cu încheierea deplasării cromozomilor la polii opuși ai celulei. Ajunși la poli cromozomii unicromatidici încep să se despiralizeze devenind mai lungi și mai puțin colorabili. În această fază reapar nucleolii și se formează membranele nucleare în jurul fiecărui grup de cromozomi. Apar în felul acesta doi nuclei interfazici care dețin cromozomi unicromatidici identici ca număr cu cromozomii bicromatidici din nucleul celulei mamă.

Diviziunea nucleului (cariokineza) este urmată de diviziunea citoplasmei (citokineza).

Citokineza se realizează diferit în celula vegetală și în cea animală. În celula animală diviziunea citoplasmei și respectiv apariția a două celule fiice se face printr-o simplă starngulare în timp ce la celula vegetală apariția celor două celule este determinată de sinteza unui perete despărțitor (fragmoplast) pe seama resturilor organice ale fusului nuclear.

6. 5. Meioza

Diviziunea celulelor sexuale se realizează prin meioză, care permite reducerea setului diploid la set haploid. Meioza cuprinde două procese mari:

I. Meioza I în care are loc separarea cromozomilor omologi și

II. Meioza II în care se produce separarea cromatidelor cromozomiale

În finalul celor două meioze se obțin patru celule fiice fiecare deținând câte un set haploid de cromozomi.

Meioza I

Profaza I

În profaza meiozei I se disting mai multe etape succesive:

a. Preleptoten

Preleptotenul este o etapă analoagă profazei timpurii a mitozei. Din ghemul de cromatină nucleară, încep să se individualizeze cromozomii sub forma unor filamente subțiri și lungi.

b. Leptoten

În această fază cromozomii pot fi distinși cu ușurință; numărul filamentelor cromatice individualizate corespunde unui set diploid. Cromozomii leptotenici sunt bicromatidici, dezordonat repartizați în celulă.

c. Zigoten

Zigotenul debutează prin unirea cromozomilor în perechi omoloage. Această unire poartă denumirea de conjugare sau sinapsis. În formarea acestor complexe

cromozomii omologi își conjugă cu fidelitate porțiunile omoloage. Conjugarea începe la unul din capete și se continuă în maniera închiderii unui fermoar.

Dacă structura cromozomilor omologi este modificată de mutații împerecherea se face doar pe fragmentele rămase omoloage.

d. Pachiten

În pachiten are loc scurtarea și îngroșarea cromozomilor conjugați datorită spiralizării; cromatidele surori sunt menținute împreună astfel că o pereche de cromozomi omologi este formată din patru cromatide unite două câte două la nivelul centromerului. Ansamblul acesta reprezintă un bivalent sau o tetradă.

La nivelul bivalenților se pot produce suprapuneri ale cromatidelor nesurori. Accentuarea spiralizării poate determina rupturi la nivelul încălecărilor cromatidice iar fragmentele rupte se pot alipi inversat. Aceste mecanisme pot genera recombinări ale materialului ereditar prin crossing-over, obținându-se astfel o nouă combinație de gene la nivelul genomului parental.

e. Diploten

În diploten cromozomii omologi au tendința de a se separa dar ei sunt totuși menținuți împreună de chiasmele (încrucișările dintre cromatide) care formează punți cromatice între cromatidele nesurori. Cei mai mulți bivalenți au două sau trei chiasme. Îndepărtarea centromerilor cromozomilor omologi apărută la sfârșitul diplotenului atrage după sine un proces de deplasare a chiasmelor spre zonele telomerice. Acest proces este cunoscut sub denumirea de terminalizație.

f. Diachineza

Îngroșarea și scurtarea cromozomilor este maximă în diachineză. Cromozomii omologi rămân uniți prin chiasme terminale. Diachineza se încheie cu metachineza care reprezintă deplasarea cromozomilor bivalenți spre ecuatorul fusului de diviziune. În acest moment membrana nucleară se dezorganizează și nucleolul dispare.

Metafaza I

În metafaza I are loc ordonarea bivalenților pe suprafața metafazică. Centromerii cromozomilor omologi încep să se îndepărteze fapt ce determină dispariția ultimelor chiasme.

Anafaza I

Fiecare formațiune bivalentă se separă în doi cromozomi omologi care se îndreaptă spre cei doi poli opuși ai celulei. Unitatea de migrare nu este cromatida ci cromozomul bicromatidic. Omologii fiecărui bivalent au origini diferite- unul este de origine maternă iar celalalt de origine paternă- iar orientarea omologilor spre poli este întâmplătoare, prin urmare la fiecare pol al celulei va ajunge după anafaza I o combinație întâmplătoare de cromozomi.

Telofaza I

Telofaza începe în momentul în care cromozomii bicromatidici au ajuns la cei doi poli. Cromozomii meiotici rămân în stare condensată. Cromatidele se

separă vizibil rămânând unite doar prin centromer . În telofază are loc organizarea membranei nucleare și reapar nucleolii .

La sfârșitul meiozei se formează două celule haploide, meioza I este denumită și diviziune reduțională.

Fig.28. Diviziunea celulară progamică la *Monocystis magna*: A, B-profaza; C - tranziție către metafază; D - metafază; E, F, G - anafază; H,I-telofază

Meioza II

Profaza II

În profaza II cromozomii își mențin starea spiralizată.

Metafaza II

Metafaza II debutează cu dezorganizarea membranei nucleare, dispariția nucleolilor și formarea fusului de diviziune.

Cromozomii bicromatidici se dispun la ecuatorul celulei. În această fază centromerii se divid și are loc separarea cromatidelor surori.

Anafaza II

În anafaza II are loc deplasarea cromatidelor surori la polii opuși ai celulei.

Telofaza II

Cromozomii unicromatidici se grupează la polii celulei și în jurul lor apare membrana nucleară. Reapar nucleolii și în final apar patru celule haploide.

6.6. Întrebări

1. Celulele pot avea:

- a. un singur nucleu
- b. nucleu granulați
- c. doi nucleu
- d. mai mulți nucleu
- e. nici un nucleu

2. Care sunt noțiunile corecte legate de nucleu:

- a. are o poziție centrală
- b. nucleu are o poziție periferică
- c. nucleu are o membrană simplă
- d. volumul nucleului și al citoplasmei sunt într-un raport variabil
- e. poate avea garnitură diploidă de cromozomi.

3. Nucleii conțin :

- a. proteine legate de acizii nucleici
- b. cromatina
- c. ADN și ARN
- d. peroxizomi
- e. unul sau doi nucleoli

4. Nucleu intervine în diviziune prin :

- a. individualizarea cromozomilor din proteine contractile
- b. individualizarea cromozomilor din cromatină
- c. dublarea numărului de cromozomi în meioză
- d. dublarea numărului de cromozomi în mitoză
- e. codificarea informației pentru biosintaza proteinelor

5. Centrul celular :

- a. este prezent în nucleu
- b. absent în neuron
- c. prezent în toate celulele
- d. alăturat nucleului
- e. este deosebit de centrozom

6. Care din următoarele afirmații sunt corecte :

- a. celulele anucleate artificial nu sunt viabile
- b. membrana externă a nucleului se continuă cu ce a R.E.
- c. membrana dublă a nucleului prezintă pori
- d. prin porii nucleolemei nu trec molecule ca ARN, AA etc.

e. prin porii nucleolei trec macromolecule proteice

7. Diviziunea directă este prezentă la:

- a. organisme procariote
- b. alge albastre verzi
- c. fungii
- d. celula eucariotă
- e. ovocite

8. Diviziunea indirectă este prezentă la :

- a. organisme procariote
- b. protozoare
- c. plante
- d. organisme eucariote
- e. plante și animale

9. Diviziunea ecvaziională (mitoza) stă la baza:

- a. creșterii organismelor
- b. refacerii țesuturilor lezate
- c. reproducerii organismelor
- d. producerea gameților
- e. păstrării garniturii haploide

10. Diviziunea reduțională (meioza) stă la baza:

- a. creșterii organismelor
- b. refacerii țesuturilor lezate
- c. reproducerii organismelor
- d. producerea gameților
- e. păstrării garniturii diploide