

ZATIKETA ZELULARRA (I)

Zelula batek funtzionatzeko behar duen informazio guztia nukleoan dago. Zelula amak bi zelula berri ematen dituenean informazioa oso-osorik eskaini behar die haiei, eta hau posible izan den prozesua zatiketa zelularra da, informazioaren birproduktzio kuantitatibo eta kualitatiboa alde batetik eta bestetik bi zelula berrietan ekitatiboki banatzea garantzatuz.

Informazioaren birproduktzio kuantitatibo eta kualitatiboa, DNA-ren (azido deoxirribonukleiko) bikoizketa eta erreplikazio deritzan fenomeno molekularren bidez ematen da. Informazioaren banatzeak, berriz, zelula barneko zenbait egituraren parte-hartzea behar du.

Eukarioteengan, zatiketa zelularrak badu alderdi bat baino gehiago. Morfoloikoki nabarmenen datusaguna kromatinaren transformazioa da, oso erraz tinta daitezkeen bastoi txiki batzuk emanez: kromosomak. Honegatik, zatiketa zelularren fenomeno morfoloikoa eta fisiolojikoak aztertu baino lehen kromosomen ezaugarri orokorrak ikusiko ditugu.

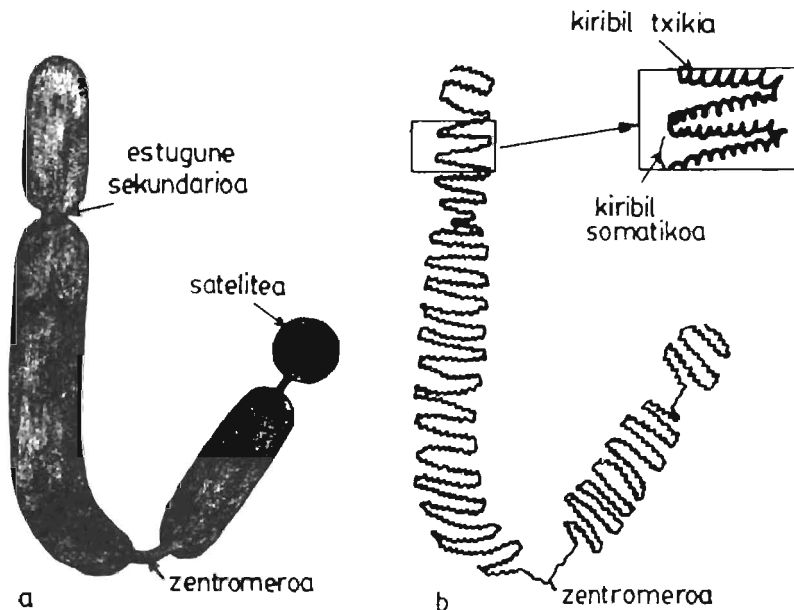
KROMOSOMAK:

Zatiketa zelularren hasieran, interfasean edo atsedenean dagoen nukleoaren kromatinatik, kromosomak eraikitzen dira. Gaur egun guztiz onartua dago kromosomak eta kromatina gai bakar baten bi itxura baino ez direla.

Halaber pentsatzen da, hariki fin eta luzeak (kromatidak) osatzen dutela kromatina eta hauek zatiketaren unean itxura kiribil bat hartuz kiribilkapen itxi bezala azaltzen direla; hots, kromosoma bezala, zatiketaren ondoren zelula interfaserara itzultzen denean kromosomak deskribilduz berriro kromatina-itxura hartuko dute.

Kromosomen kopurua eta itxura

Espezie bakoitzarentzat, kromosomen kopurua eta itxura guztiz definituak daude eta espezie horren ezaugarri dira. Kromosomak (ikus 1. irudia) bastoi-itxura daukate, 0,2tik 2 μ -tarainoko diametroz eta 0,2tik 50 μ -tarainoko luzeraz. Zentromero izeneko meharrune batek bi besotan zatitzen



1. IRUDIA

- Kromosoma azpi-metazentriko baten erakuntza
 - a) Zentromero edo estugune primarioak, kromosoma bi besotan zatitzen du, hauetako batek estugune sekundario bat eta besteak satelite bat dutelarik.
 - b) Kromosoma baten erakuntzaren interpretazioa; espiralean bildutako kromatido batek eraten du; zentromeroa gutxienik kiribildutako aldeari dagokio.

(E. de Robertis, W. Nowinski eta E. Saetz-en arauera)

ditu. Besoen luzera eta zentromeroaren kokatzearen arauera kromosomamota desberdinak egiten dira: bastoi zuzen itxurazko kromosomak (k. akrozentrikoak), V itxurazkoak bi beso berdinekin (k. metazentrikoak), V itxurazkoak baina beso desberdinekin (k. azpi-metazentrikoak) eta beso txiki laburreko kromosomak (k. puntiformea).

Sarri, kromosomaren beso batetan estugune sekundario deitutako mehartze bat atzeman daiteke. Zentromeroa izango litzateke estugune primarioa. Zatiketaren hasieran atzeman daitekeenez, nukleoloak estugune sekundarioari hertsiki loturik daude, honegatik zati honek alde nuklear edo eratzaille nuklear izenak hartzen dituelarik.

Zenbait kromosomatan, beraien beso baten muturrean eta hariki batez loturik, borobil txiki bat ikusten da; hau da, satelitea.

Kromosomen azterketa morfologikoak erakusten digunez, jeneralean nukleo bakoitzean kromosoma bakoitzeko bi ale berdin-berdinak daude. Nukleoak, beraz, kromosoma-bikoteak dauzka, bikote bakoitzeko kromosomak homologo deitzen zaizelarik. Kromosoma-bikoteen kopurua (n) espezieen ezaugarri da eta nukleo bakoitzak 2n kromosoma dauzka: edo, hobeto esan, n kromosomatako bi sail berdin dauzka. "n" zenbakiari haploide deritzo; eta 2n-ri, berriz, diploide. Ikus dezagun espezie batzuren balore diploideen zenbait adibide:

$$\text{gizona } 2n = 46$$

$$\text{igel gorria } 2n = 26$$

$$\text{lilia } 2n = 24$$

$$\text{drosofila } 2n = 8$$

$$\text{Ascaris bivalens } 2n = 4$$

Zenbaki hau, beraz, arrunt aldakorra da, zenbait protozoariok (300-tik gora) eta ascaris univalens (2) diratekeelarik sailkapenaren muturrak.

Gametoek ez dute kromosoma-sail bat besterik; zelula hauek haploideak dira. Alderantziz, organismoaren gainontzeko zelulak diploideak dira. Egon, badaude 2n kromosoma baino gehiago duten zelulak (4n, 8n, etc.), esate baterako ugaztunen hepatikoak; kromosoma bi sail baino gehiago duten zelula orori, poliploide deritzo.

Espezie askotan, arraren eta emearengan kromosoma-bikote desberdin bat agertzen da; hauek dira heterokromosoma edo sexu-kromosoma moduan ezagutzen direnak. Giza espeziean bikote hau osatzen duten kromosomak berdinak dira emakumearengan eta desberdinak gizonarengan. Beste zenbait espezieetan heterokromosomen bikotea sexu batean bakarrik agertzen da, bestean kromosoma bakarra geratzen delarik.

Kromosomen kopurua eta itxura espezie bakoitzaren ezaugarri da, eta hauen bildumak, espezie horren kariotipoa osatzen du. Espezie bateko edozein indibiduoren kromosomak fotografiatuz gero, kromosoma bakoitzaren irudia moztu eta binaka liteke, handienetik txikienera eta bere morfologiaren arauera, horrela famili erretratua, espezieraren idiograma egina izango genukeelarik.

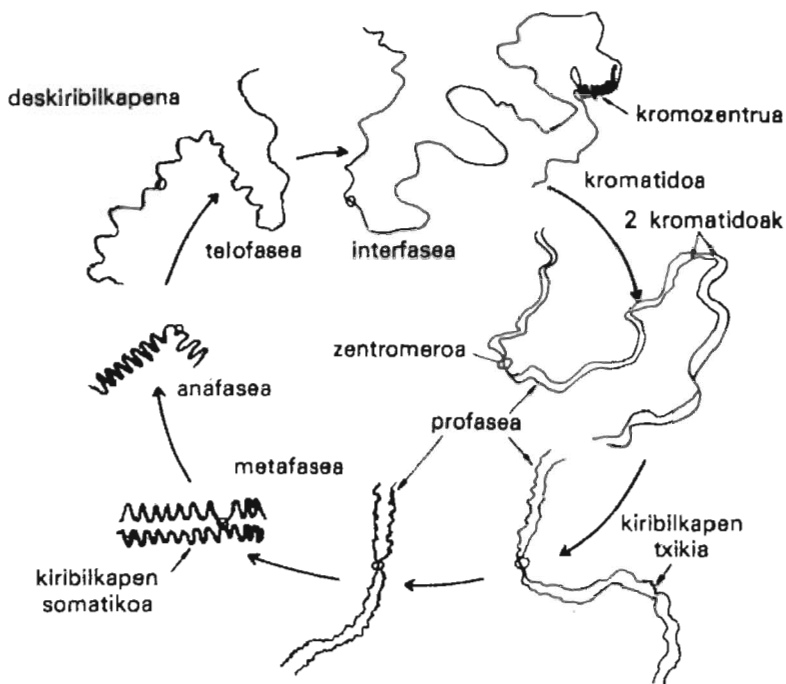
EGITURA ETA ULTRAEGITURA

Ikusi dugunez, kromosoma bakoitza kiribilean bildutako kromatido batek osatzen du. $0,2 \mu$ diametrozko hari bat da, beraz mikroskopio optikoaz nahiko zail ikus daitekeena, honen ahalmeneren mugan baitago. Nukleo interfasiakoan, kromosoma bakoitzaren kromatidoa bildu gabe dago, kromozentruak osatzen duten nahaspilamendu batzuek. Zenbait landaretan, zelula interfasiakoan, kromatidoa ez dago erabat askea eta kromosomen adinako kromozentru-zenbakia agertzen da. Kasu hauetan protokromosoma adiera erabiltzen da.

Zatiketaren unean, kromatido bakoitza oso urrats txiki kiribil batean biltzen da, honek kromatidoaren laburpena eta ikuskorrago egitea ekoizten duelarik. Honela kromatidoak bigunkari baten tankera eta kiribil txikia izena hartzen du. Gero kiribil txikiak berriro ere 10-30 biratako kiribiletan bilduz, kiribil somatikoa ematen du (2. irudia). Etengabeko bi kiribilkapen hauekin kromatidoaren luzera nabarmenki laburtzen da, bere diametroaren itxura lodiagotzen den bezala. Kromosomak azaltzen duen bastoi sendo itxura prozesu horien ondorio da. Kromatidoaren zenbait zati, kiribil txikian soilik biltzen dira, kiribil somatikorik gabe, horrela sortzen direlarik kromosomaren estuguneak: zentromeroa eta satelitea lotzen duen trabekula. Estugune sekundarioa, espiral somatikoak diametro txikiago bat azaltzen duen zatia baino ez da.

Zatiketaren azkenean, espiral somatikoa askatzen joaten da, baina kromatidoaren zenbait alde bildurik jarraitzen du, kromozentruak emanez. Kiribil txikia ere askatzen da, itxura pikortsu bat hartzen duten borobil batzuek: kromomeroak. Zatiketek gametoak ekoizten dituztenean, bigarren biltzeak beste zeluletako kiribil somatikoei dagokiena, helize itxura hartzen du. Helize honen diametro eta zabala txikiagoak dira, kromosoma bakoitza moztu eta sendoago azaltzen delarik. Bigarren biltze honi, kiribil nagusia deritzen.

Bere zatiketaren hasieran, zelulei, zenbait tratamendu (ur beroa, zianuro potasikoa etc.) jasan araz gero, kromatido bakoitza bi hari osaturik dagoela ikus daiteke: semikromatidoak. Mikroskopio elektronikoaren bidez azaltzen zaigunez, kromosomak 100 \AA diametrozko zuntxoaren sare fin batez eginak daude. Zuntxo hauek, halaber diametro txikiagoko azpiunitatetan zati litezkeelarik.



2. IRUDIA

- Mitosian zehar, kromatidoaren kiribilpen-zikloa erakusten duen eskema. Profasearen hasieran kromosoma bakoitza zentromeroan bat eginiko bi kromatidoek osatzen dute. Profasean zehar, bi kromatidoak kiribiltzen dira; metafasean, kromosomak destolestatuak eta zentromero bakar batez batuak daude. Zentromeroaren destolestapenaren ondoren, kromosoma semeak poloetarantz igotzen dira anafasean zehar. Telofasean, kromatidoak deskribildu egiten da, nukleo interfasiakoaren kromozentruak osatzen duten zenbait alde ezetik.

(E. de Robertis, W Nowinski eta E. Saetz-en arauera)

ERAKUNTZA KIMIKOA

Kromosomen erakuntza kimikoa "in situ" egindako ikerketa zitokimikoen bidez ezagutzen da gehienbat. Kromosomak kromatinaren osagai berdinak dituzte: DNA (Feulgen-en erreakzioa dela eta nabarmendua), RNA eta elkarturiko proteinak. Azido nukleikoaren koloratzaileekiko zaletasuna ez da berdina kromosoma guztian. Era desberdinean erreakzionatzen duten aldeak, alde heteropiknotikoak dira: hauek, dudarik gabe, kromatidoaren espiralizazio-maila diferenteei dagozkie. Estugune sekundarioa, nukleoloa elkartzan denekoa, kromosomarengan gutxienik koloratzen den aldea da.

Mikroskopia elektronikoa atzemandako 100 Å-zko hariak, dudarik gabe DNA dute nahiz eta ondo ez den ezagutzen honen arkitektura. Ikusi dugunez, zatiketa zelularren ezaugarri borobila da nukleoan: kromosomak azaltzea. Joan den mendearen azkenean mikroskopia optikoa lehenengoz kromosomak ikusi zituzten ikertzaileek, hari bezala deskribatu zituzten eta hemendik datorkio zatiketa zelularreko mota honi mitosi izena (gerkeraz mitos, hari) (Fleming 1875 eta Strasburger 1875).

Mitosian zehar, zelula ama diploide batek ($2n$ kromosoma) bere kromosomak biderkatu egiten ditu, segidako zatiketa bitan, bere nukleoan. Zatikatzeko prozesu berezi honi (2 zatiketa segidan baina kromosomen duplikazio bakarra) meiosi deritza (gerkeraz meiosis, gutxiago).

Egon ere, badaude zatiketan zehar mikroskopia optikoa kromosomak nabarmentzen ez diren zatiketak; fenomeno honi amitosi izena eman zaio.

Hemendik aurrera mitosia aztertuko dugu, bere alde morfologiko eta fisiologikoak bereiziz.

MITOSIAREN FENOMENO MORFOLOGIKOAK

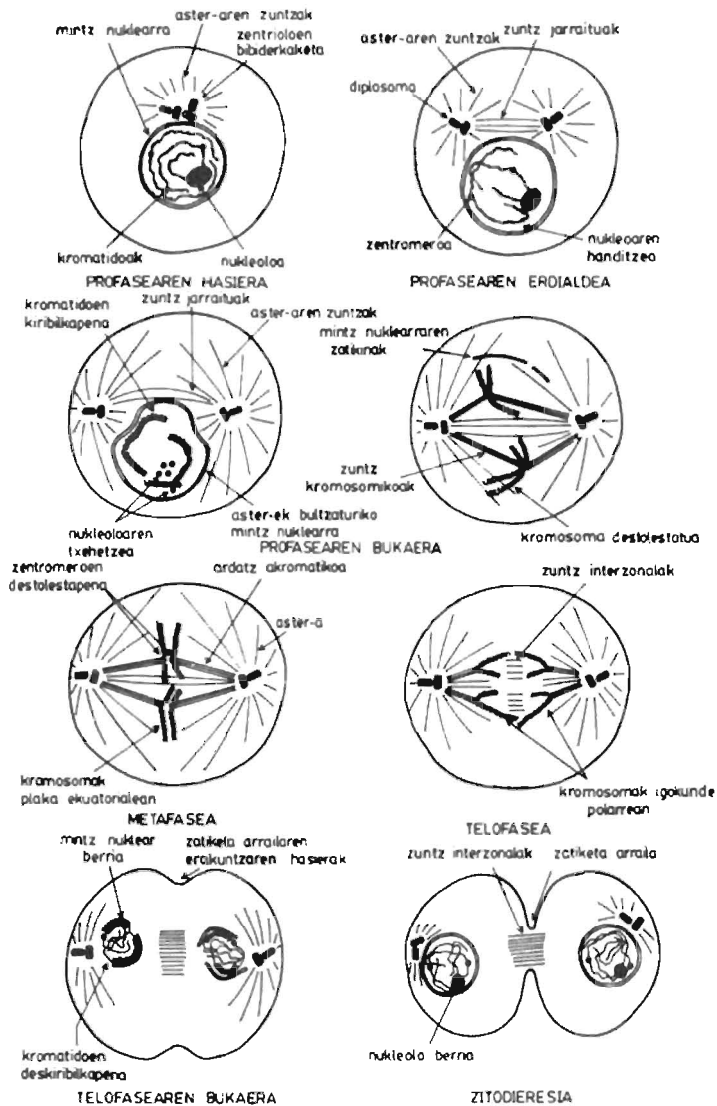
Ikuspuntu morfologikoa, zelularen osagarrien eboluzio bat atzeman daiteke, bai nukleo mailan, bai zitoplasmarenean. Mitosiak zenbait urrats betetzen du, batzuk besteekin kateatuz. Bilakatuz joaten diren ordenan honako hauek dira: profasea, metafasea, anafasea eta telofasea (3. irudia).

PROFASEA: Profasearen hasiera, nukleoaren handitzeak ematen ditu; une berean, kromatinak kromosomak ematen ditu. Kiribil txikia eratuz doanean, kromosoma bakoitza zentromeroaren medioz elkarturiko bi kromatidoak eratu dutela ikus daiteke. Honek adierazten duenez, kromosomen bikoizketa profasea bera hasi baino lehen egin dago. Kromatido bakoitzaren kiribil somatikoan biltzeak kromosoma destolestatuak eratu ditu, zentromero bakar batez bata besteari helduta. Une honetan, beraz, nukleoak $4n$ kromosoma du.

Nukleoloak, estugune sekundarioaren inguruan kokatuak, hautsi, xehetu eta gero desagertu egiten dira.

Zitoplasman, profasearen hasieraren ezaugarria, diplosomaren bikoizketa da.

Zentriolo-bikote biak, bata besteagandik urrunduz, zelularen bi muturretan kokatzen dira, erdian nukleoa geratzen delarik. Zentrioloen lekualdaketa zehar, organulu hauek inguratzen dituen hialoplasma egitura zuntza hartzen du. Mikroskopia optikoa, diplosoma bakoitzaren ingurura irradiatzen duten zuntz hialoplasmatikoak ikusten dira: aster-aren zuntzak dira, eta diplo-



3. IRUDIA

- Mitosiaren faseak Profasean zehar lehen destolestatutako kromatidoak kiribiltzen dira; eta aldi beræan hialoplasmak, diplosomen inguruan, egtura zuntsu bat hartzen du. Mintz nuklearraren hausturaren ondoren, kromosomak plaka ekuatorialean jartzen dira. Zentromeroen destolestapenak anafasearen hasiera adierazten du. Fase honetan kromosomak poloetarantz doaz. Telofasean, kromatidoak deskribildu egiten dira, erretikulu endoplasmatikotik mintz nuklearra sortzen diren bitartean. Zatiketa arrail batek bi zelula berrien bakantzea posibilitzen du.

somak elkartzen dituzten zuntz jarraituak. Mikroskopia elektronikoaz, aster-aren zuntzak eta baita jarraituak ere, 200-zko diametrozko hainbat mikrotubulu duten alde hialoplasmatikoei dagozkiela frogatzen da. Mikrotubulu hauek, zentrioloen ondoan badaude ere, ez datzekie inoiz.

Aster-aren zuntzek, bere lekualdaketan zehar, mintz nuklearra bultzatzen dute, honako hau diplosoma bakoitzaren zurrean azaltzen delarik. Une honetan, nukleoplasma eta hialoplasma bat eginak daude eta horrela, kromosoma despleatu bakoitzaren zentromeroaren mailan, zentriolorantz luzatzen diren mikrotubuluzko zuntzak azaltzen dira. Nukleoplasma eta hialoplasma eratan eratzten diren mikrotubuluzko zuntz hauek mikroskopia optikoaz ikus daitezkeen zuntzak osatzen dituzte, zuntz kromosiko deritzaierarik.

Mintz nuklearrak puskatuz jarraitzen du, zentromeroak bi diplosomek osatzen duten ardatzari perpendikular den plano ekuatorial batetan mugitzen direlarik.

Profasearen bukaeran, mintz nuklearra ia guztiz desagertu da; zentromeroak plano ekuatorial batetan kokatuta eta zuntz kromosomikoei atxikirik daude; hialoplasma eta nukleoplasma, zatiketa-ardatza osatzen duten egitura zuntsuak ekotzi dituzte. Ardatz hau "in vivo" eta polarizaziozko mikroskopioz birrefringentzia agertzen da. Diplosomen inguruan irradiatzen duten zuntzek aster-a egiten dute.

METAFASEA: Metafasean zehar, kromosomen besoak plano ekuatorialan ipintzen dira, plaka ekuatorial deritzaguna eratuz: espezieen arauera, kromosomak, zatiketa-ardatzaren periferian, besoak zelularen kanpo aldera begiratzuz, edo plano ekuatorial guztian sakabanatuta azalduko dira. Organulu zitoplasmatiko gehienak ardatzaren zuntzek baztertuta geratzen dira.

Metafasearen bukaeran, mintz nuklearra erabat desagertu da eta bere zatiak ez dira jadanik erretikulu endoplastikotik bereitzen.

ANAFASEA: Anafasearen hasiera, zentromeroen destolestatze batek emango digu. Bi zentromero berriak bereiztuz, bakoitza ardatzaren mutur batera joaten da, kromosoma berri bat eramanez. Igokunde polar hau gertatzen den bitartean, zelularen ekuatorean, kromosoma berriak urrunduz doazen heinean luzatzen diren zuntz paraleloak agertzen dira: zuntz interzonalak dira, zeintzuk ultraegitura-mailan, mikrotubuluzko azaei dagozkie. Zuntz kromosomikoak laburtu, eta zuntz jarraituak, ekuatorean puskatuz desagertu egiten dira.

TELOFASEA: Telofasean, kromosoma-sail bakoitza polo banatara heldu da. Zuntz kromosomikoak, orain arrunt laburrak, aster-aren zuntzekin batera desagertzen dira: Zuntz interzonalak, aldiz, ekuatorean mantentzen dira.

Kromosomak deskribildu egiten dira; deskribilkapenean zehar erretikularen mintzak kromosomekin batzera doazela atzematen da. Mintz hauek, batzuk besteekin soldatzean, mintz nuklear berri bat ematen dute.

Nukleoloak, zenbait kromosomaren estugune sekundarioaren mailan birreratzen dira. Honegatik, estugune honi eratzaile nukleolar deritzo.

Ekuatorean, mintz plasmatikoa imaginatu egiten da sakontzen doan eraztun-arrail bat emanez: zatiketaren hildoa alde ekuatoriala aurrera eta gehiago zapuzten da, nahiz eta oraindik zuntz interzonalak atzeman daitezkeen. Bi zelula berriak batzen dituen zubia estutuz doa, azkenean bi zelula hauek elkar banatzen dutelarik. Mitosiaren azken etapa honi zitodieresia deritzo.

Mitosisia bukatutakoan, bi zelula berri sortu dira. Bakoitzaren nukleoa $2n$ kromosoma ditu, baina hauek jadanik ikustezinak dira, nukleoa egoera interfasiko batetara iragana dugunez. Zelula bakoitzak, bestalde, diplosoma bana du. Organulu zitoplasmatikoei dagokienez, zitodieresiaren unean, bi zelula berrien artean partitu dira berdintasun garbian.

Morfologiaren ikuspuntutik, zelula berri bakoitzean kromosoma-sail identikoa banatzea segurtatzen duten mekanismoen doitasun harrigarria azpimarratu beharko genuke. Zehastasun gogor honen ondoan, gainontzeko osagarrien gutxi gorabeherazko zatitzeak kontrast bizia damaigu.

(Jarraitzeko)

JOSEBA JAUREGI

Bibliografia: BIOLOGIE ET PHISIOLOGIE CELLULAIRE

A. Berkaloff, J. Bourguet, P. Fauard, M. Guinnebault