

Strukturalnie wyższą klasą od ciałek jądrowych są **jądra dodatkowe**. Po raz pierwszy opisał je Friedrich Blochmann w roku 1886 w cytoplazmie oocytów mrówek i os. Jądra dodatkowe znajduje się również w innych grupach stawonogów: owadów (*Insecta*), wijów (*Myriapoda*) i skorupiaków (*Crustacea*), a także nicieni (*Nematoda*). Pod koniec ubiegłego stulecia jądra dodatkowe opisano także w oocytach i blastomerach ssaków. Jądra dodatkowe są zamknięte w osłonce jądrowej zawierającej pory jądrowe. Wewnątrz znajdują się kuliste ciała elektronowo gęste, tzw. **pseudojąderka**, zbudowane z ziarnistego materiału zawierającego RNA i białka.

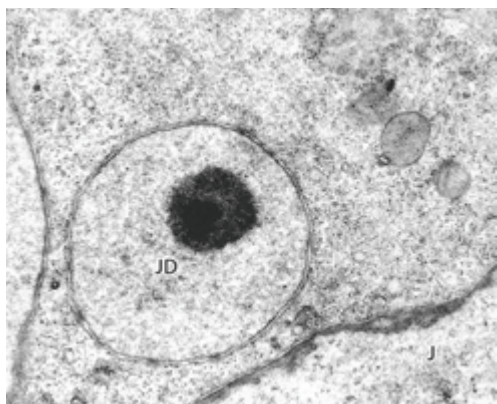
Jądra dodatkowe powstają przez pączkowanie z jądra komórkowego wraz z jego osłonką jądrową. Obecność wewnętrznej, białkowej wyściółki podosłonkowej zbudowanej z lamin nie jest wyraźnie zaznaczona. Po uformowaniu lokalizują się w pobliżu błony cytoplazmatycznej oocytu, a materiał pseudojąderek pod koniec oogenezy ulega rozrzedzeniu i jest transportowany do cytoplazmy otaczającej jądra dodatkowe.

Trudno na obecnym etapie badań wskazać zadania jąder dodatkowych w oocytach. Przypuszcza się, że mogą uczestniczyć w procesie gromadzenia materiałów zapasowych – żółtka, ale być może odgrywają rolę w syntezie osłon

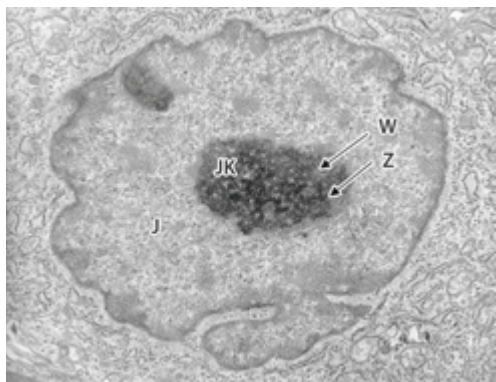
jądrowych lub w ustaleniu kierunku osi zarodka (przód–tył). Obecność w pseudojąderkach tzw. białek srebrnochłonnych i białka p80-koiliny upodabnia je do opisanych wyżej ciał jądrowych zwiniętych i mogą być ich homologami (ryc. 4.2.16). Badania nad jądrami dodatkowymi szkoły krakowskiej profesora Szczepana Bilińskiego sugerują, że mogą one służyć jako przenośnik cząsteczek snRNP pod powierzchnię oocytu, gdzie gromadzą się duże ilości czynników związanych z dojrzewaniem RNA.

4.2.7. Jąderko

Jąderko jest, obok chromatyny skondensowanej, drugą wyraźnie zaznaczoną strukturą w jądrze interfazowym (ryc. 4.2.17). Pierwsze opisy jąderka datują się na koniec XVIII wieku i pochodzą z obserwacji N. Fontany (1781), natomiast swoją nazwę zawdzięcza Gabrielowi G. Valentinowi (1839). Jąderko występuje powszechnie w jądrach wszystkich komórek eukariotycznych, z wyjątkiem plemników i dojrziałych erytrocytów ptaków. Wielkość jąderek zależy od zaangażowania komórek w intensywną syntezę białek, co jest związane z nasileniem transkrypcji genu rDNA. Jądra komórek intensywnie syntetyzujących białka charakteryzują się obecnością dużych jąderek, których



RYC. 4.2.16. Elektronogram z mikroskopu elektronowego transmisyjnego fragmentu oocytu *Eomencanthus stramineus* (wszody, *Mallophaga*) z jądrem dodatkowym (JD) zlokalizowanym w pobliżu jądra głównego (J). Kolisty, silnie skondensowany twór widoczny w jądrze dodatkowym reprezentuje tzw. pseudojąderko. Osłonka jądrowa jądra dodatkowego zawiera liczne pory jądrowe, natomiast niewidoczna jest białkowa wyściółka podosłonkowa, charakterystyczna dla osłonki jądrowej jądra głównego (obraz dzięki uprzejmości prof. Szczepana Bilińskiego).



RYC. 4.2.17. Elektronogram z mikroskopu elektronowego transmisyjnego jądra komórkowego (J) fibrosarkomy 4437 szczura. Duże, centralnie położone jąderko (JK) wykazuje wyraźne zróżnicowanie na dwie komponenty: ziarnistą (Z) i włóknistą (W).

objętość może dochodzić do 25% objętości jądra (ryc. 4.2.17). Jądra komórek, które nie prowadzą aktywnej syntezy białek, posiadają bardzo małe lub w ogóle niewidoczne jąderka. Zadaniem jąderka jest synteza prekursorowego rybosomowego RNA (rRNA; 45S), a następnie formowanie podjednostek tworzących rybosomy.

Jąderka są integralną częścią chromatyny **chromosomów jąderkowych**, których może być kilka par, dlatego ich liczba nie przekracza liczby chromosomów jąderkowych, a konkretnie liczby **organizatorów jąderka**, obecnych na tych chromosomach. W różnych komórkach można zaobserwować jedno lub kilka jąderek w zależności od fazy cyklu, w której znajduje się komórka. W komórkach człowieka może występować do 10 jąderek, co wiąże się z liczbą chromosomów jąderkowych, których człowiek posiada pięć par. Zazwyczaj w jądrze interfazowym liczne jąderka zlewają się w jedno duże i dlatego ich liczba nie odpowiada liczbie chromosomów jąderkowych. W komórkach charakteryzujących się wysoką aktywnością transkrypcyjną rRNA (oocyty płazów) liczba jąderek może dochodzić do kilkuset, a nawet powyżej tysiąca (1400). Jest to wynik **amplifikacji genów** kodujących rRNA.

Obecność RNA w jąderku została po raz pierwszy opisana przez Jeana Bracheta w roku 1940, dzięki zastosowaniu specyficznego bar-

wienia pyroniną i zielenią metylową (odczynnik Bracheta). Obserwacje te zostały potwierdzone w roku 1952 przez Waltera Vincenta metodą biochemiczną, a dalsze badania w tym kierunku pozwoliły na ustalenie jego zasadniczych składników. Jąderko zbudowane jest głównie z białek, które stanowią 80–90% jego masy, 3–13% RNA i 3–18% DNA. Bogactwo białek jąderkowych jest olbrzymie; opisano około 200 rodzajów, z których najważniejsze to:

- 1) **polimeraza RNA I** odpowiedzialna za proces transkrypcji rDNA w prekursorowe pre-rRNA,
- 2) wielofunkcyjna **nukleolina**, która aktywizuje proces transkrypcji DNA i bierze udział w tworzeniu podjednostek rybosomowych oraz w dekondensacji chromatyny jąderkowej,
- 3) **fibrylaryna** uczestnicząca w dojrzewaniu prekursorowego rRNA,
- 4) **rybocharyna** biorąca udział w dojrzewaniu dużych podjednostek rybosomowych (60S).

Obserwacje jąderka w mikroskopie elektronowym zapoczątkował w roku 1950 Clemente Estable i Roberto J. Sotelo, a następnie podjął je w cztery lata później Edward M. De Robertis. Intensywne badania nad strukturą jąderka zawdzięcza się czeskiemu badaczowi Karelowi Smetanie. Jąderko składa się z trzech