

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN—POLONIA

VOL. XVII, 26

SECTIO D

1962

Katedra i Zakład Histologii i Embriologii. Wydział Lekarski. Akademia Medyczna w Lublinie
i

Pracownia Mikroskopii Elektronowej. Akademia Medyczna w Lublinie
Kierownik: prof. dr med. Stanisław Grzycki

Stefan DUBAS*

**Ultrastruktura naczyń włosowatych kłębka nerkowego w mikroskopie
elektronowym**

**Ультраструктура капиллярных сосудов почечного клубочка,
выявленная с помощью электронной микроскопии**

**The Ultrastructure of the Capillaries of the Renal Glomerulus
by Electron Microscope**

Naczynia włosowate kłębka nerkowego były przedmiotem wielu badań mikroskopii świetlnej i elektronowej. Dyskusja nad śródbłonkiem włóściczek, komórkami epitelialnymi, błoną podstawową i komórkami międzywłośniczkowymi jest nadal otwarta i stale odsłania nowe zagadnienia. Obraz morfologiczny i wzajemna zależność tych podstawowych elementów kłębka nerkowego były tematem prac: Sulkina (1949), Schmiedta (1951), Mendela i współ. (1950, 1952), Kurnika (1955), a przede wszystkim Latta i wsp. (1960), Bencosme, Stone, Latta i Moddena (1960), Yamada (1955, 1960), Suzuki (1957), Pease (1955), Rhodina (1955) i innych.

Duża część badań nad naczyniami kłębka nerkowego została przeprowadzona przez wielu autorów w schorzeniach nerek, a przede wszystkim w nefrozach, zapaleniu kłębków nerkowych, toczniu rumieniowatym, stwardnieniu tętnic i innych. Oddzielną grupę stanowią badania naczyń kłębków nerkowych w zatruciach metalami ciężkimi i fosforem.

Mimo licznych prac zagadnienie submikroskopowej budowy naczyń kłębka nerkowego, a szczególnie współzależności ich elementów morfotycznych jest nadal ciekawym zagadnieniem, upoważniającym do podjęcia nowych badań i nowych obserwacji w zakresie struktury i funkcji kłębka nerkowego pozostającego w warunkach doświadczalnie zmienionych.

* Zginął tragicznie w katastrofie samolotowej na lotnisku Okęcie—Warszawa w dniu 19 grudnia 1962 roku.

MATERIAŁ I METODYKA

Badania przeprowadzono na 2 grupach szczurów białych, samcach, hodowli wsobnej, wagi 160—180 g. Pierwszą grupę kontrolną stanowiło 10 szczurów, a drugą 36 szczurów poddanych zabiegowi operacyjnemu usunięcia nerki lewej. Z nerki prawej zwierząt operowanych, która po usunięciu nerki lewej zastępczo przerosła, pobierano wycinki do badań mikroskopowych w 6, 12, 24 godz. oraz w 2, 4, 7, 14, 21, 30 i 60 dniach trwania doświadczenia. Wycinki 0,5—1 mm kory nerki pozbawionej torebki utrwalano jedne przez 30 min. w zimnym, buforowanym (pH 7,4) 1% czterotlenku osmu z sacharozą 0,14 M lub przez 2—24 godz. w 1% roztworze czterotlenku osmu w wodzie destylowanej (pH 6—6,2) wg A. Claude'a. Drugie wycinki w 5% nadmanganianie potasu w temperaturze od 0 do +4°C. Po utrwaleniu wycinki przemywano w wodzie destylowanej 3 razy po 3 minuty i odwadniano w alkoholu etylowym 70, 90 i 100% po 30 minut. Wycinki zatapiano w n-metakrylanie butylu, w mieszaninie n-metakrylan butylu z metakrylanem metylu 95 : 5 części objętościowych z dodatkiem 1% nadtlenku benzoilu jako katalizatora. Polimeryzację przeprowadzono w cieplarni w 46°C przez 24 godz. Ultracienkie skrawki grubości 100—200 Å skrawano na ultramikrotomie Reicherta według Sittego i obserwowano w mikroskopie elektronowym Elmi D2 C. Zeiss (Jena). Część skrawków po umieszczeniu na siatce przedmiotowej pokrytej błoną formwarową poddano działaniu octanu uranylu przez 15—20 minut, lub świeżo przygotowanego 5% roztworu nadmanganianu potasu w wodzie destylowanej, przygotowanej i szybko ostudzonej do temperatury pokojowej. Barwienie skrawków roztworem nadmanganianu potasu przeprowadzono w małym naczynku wagowym (5 cm³), którego ściany wewnętrzne powleczono warstewką parafiny w celu zmniejszenia procesu wytwarzania tlenków manganu.

BADANIA WŁASNE

Na preparatach kłębków nerkowych w ultracienkich skrawkach można było obserwować zespoły naczyń włosowatych. Każdy zespół utworzony był z 4—6 naczyń włosowatych układających się wokół grupy komórek. Obrazy te były charakterystyczne dla środkowej części kłębka nerkowego. Na obwodzie kłębka widoczne były pojedyncze, lub pary naczyń włosowatych oddzielonych od siebie nieregularnymi, szerokimi przestrzeniami Bowmana (ryc. 1).

Zespół naczyń włosowatych części środkowej kłębka nerkowego zbudowany był z komórek międzywłośniczkowych (interkapilarnych), komórek śródbłonka, błony podstawowej, komórek epitelialnych i substancji międzykomórkowej. Był on różnokształtny, zależny od płaszczyzny przekroju naczyń włosowatych połączonych błoną podstawową, która była jednym, ciągłym elementem ograniczającym zespół naczyń. Błona podstawowa nie ulegała rozszczepieniu i nie wchodziła w środkową część zespołu pomiędzy komórki międzywłośniczkowe i komórki śródbłonka naczyń włosowatych. Środkowe odcinki ściany naczyń włosowatych zespołu nie posiadały błony podstawowej i zbudowane były jedynie z cytoplazmy komórek śródbłonka. Po ich stronie ze-

wewnętrznej, zwróconej do grupy komórek międzywłośniczkowych obserwowano nieregularną, kanalikowatą przestrzeń, częściowo wypełnioną substancją międzykomórkową i połączoną z systemem kanalików międzywłośniczkowych. Kanalikowata przestrzeń, ograniczona przez śródbłonek z jednej strony i grupę komórek międzywłośniczkowych z drugiej strony miała bardzo różne wymiary i ulegała wyraźnemu poszerzeniu w nerce kompensacyjnie przerosłej (ryc. 9). Grupę komórek międzywłośniczkowych, przylegającą do niej odcinki naczyń włosowatych i system kanalików międzywłośniczkowych nazwano środkową, dla odróżnienia od obwodowej, w której przesącz kłębuszkowy przenika bezpośrednio do przestrzeni Bowmana.

Komórki międzywłośniczkowe strefy środkowej zespołu naczyniowego posiadały duże jądro komórkowe nieregularnego kształtu. Błona jądrowa po utrwaleniu w czterotlenku osmu miała wygląd blaszkowaty, widziało się bowiem blaszki zewnętrzną i wewnętrzną, osmofilną i środkową osmofobną. Jąderko umieszczone zwykle było na obwodzie jądra. Było ono duże i wykazywało budowę włóknisto-ziarnistą. Na preparatach nerki zastępczo przerosłej jąderko było zwykle znacznie większe i o wyraźniejszej strukturze włóknistej. Cytoplazma podstawowa natomiast komórek międzywłośniczkowych posiadała strukturę ziarnistą, a w części komórek można było zauważyć pojedyncze lub grupy błon ergastoplazmy w sąsiedztwie mitochondriów. W cytoplazmie można było obserwować również drobne wakuole towarzyszące kanalikom międzywłośniczkowym. Ilość wakuoli wyraźnie wzrastała w nerce kompensacyjnej i powstawały one w wyniku zwiększenia procesu mikropinocytozy.

Komórki śródbłonna wyścielały światło naczyń włosowatych, a w strefie środkowej zespołu były ich jedynym składnikiem. Cytoplazma tych komórek w większej części ściany naczyń włosowatych ograniczona była do cienkiej warstewki rozpościerającej się po wewnętrznej powierzchni błony podstawowej (ryc. 2—14). W tej cienkiej warstwie cytoplazmy obserwowało się liczne przerwy i pory. Nierzadko nawet mogła ona występować w formie małych, 320—620 Å, okrągłych grudek ułożonych linijnie wzdłuż wewnętrznej powierzchni błony podstawowej. Odstępy pomiędzy tymi grudkami wynosiły od 180 Å do 1540 Å (ryc. 4 i 5). Większe grudki cytoplazmy zawierały pojedyncze mitochondria i nieliczne wakuole. Nie obserwowało się rozgałęzionych i łączących się pomiędzy sobą wyrostków cytoplazmy, jak to ma miejsce w wypadku komórek epitelialnych. Średnia wielkość porów w cytoplazmie komórek śródbłonna nerki kontrolnej wahała się w granicach 1000 Å. W nerce

kompensacyjnie przerosłej natomiast warstwa cytoplazmy obwodowej była cieńsza a ilość porów o wymiarach 600—1500 Å liczniejsza. W miejscach grudkowatych zgrubień ilość cytoplazmy była również znikoma i otaczała ona pojedyncze, czasami lamelarnie zwyrodniałe, mitochondria. Najmniejszym zmianom ulegała ta część komórki śródbłonka, w której znajdowało się jądro. Część ta była zwykle w sąsiedztwie komórek interkapilarnych i tylko nieduża jej część spoczywała na błonie podstawowej, reszta zaś ograniczała początkowy odcinek kanaliką międzyłośniczkowego. Podstawa tej części cytoplazmy była nieregularna, a w miejscach, w których dotykała błony podstawowej wytwarzała krótsze lub dłuższe wypustki. Wypustki te łącząc się z warstwą wewnętrzną błony podstawowej, ograniczały nieregularne kanalikowate przestrzenie (ryc. 9). Cytoplazma tej części śródbłonka zawierała nieliczne mitochondria, pojedyncze blaszki ergastoplazmy, drobne wakuole i duże jądro komórkowe otoczone trójwarstwową błoną jądrową, zawierające jedno lub dwa włókniste jąderka. W strefie błony jądrowej szczególnie na skrawkach nerki kompensacyjnie przerosłej można było zauważyć liczne pęcherzyki rafeocytozy.

Komórki epitelialne pokrywały zewnętrzną powierzchnię błony podstawowej i ograniczały zespół naczyńiowy (ryc. 1—14). Ich wielokształtne wypustki urozmaicały przestrzenie Bowmana. Komórki te nigdy nie stykały się ze światłem naczyń włosowatych. Posiadały one bardzo liczne wyrostki rozmieszczone na zewnętrznej powierzchni błony podstawowej. Większość tych wyrostków posiadała kształt stopkowaty i stąd komórki noszą również nazwę podocytów. Nieliczna część wyrostków miała nieco inny kształt, zawierała więcej cytoplazmy, pojedyncze mitochondria i wakuole. Niektóre wyrostki łączyły się pomiędzy sobą szczytami i rozgałęziały się. Nigdy jednak nie obserwowano się, by wypustki, wyrostki tych komórek, tworzyły obrzeżenie naczynia włosowatego. Na przekrojach poprzecznych i podłużnych naczyń włosowatych podstawy poszczególnych wyrostków nie stykały się ze sobą. Przestrzenie wolne pomiędzy nimi wynosiły w nerce kontrolnej 250—500 Å. Podstawa wyrostków mierzona w najszerszym miejscu wynosiła 1060—1580 Å, była wklęsła i wchodziła w zewnętrzną warstwę błony podstawowej. Ciało komórki stykało się z kilkoma wyrostkami i sprawiało wrażenie jakby było na nich zawieszona w przestrzeni Bowmana. Ultrastruktura cytoplazmy i jądra była podobna do komórek śródbłonka. Średnia wysokość wyrostków komórek epitelialnych wynosiła 3500—4000 Å w nerce normalnej, a 6500 Å w nerce kompensacyjnie przerosłej. Rozrost wyrostków, jak również ciała tych komórek

były bardzo charakterystyczne dla obrazu naczyń włosowatych kłębka nerki kompensacyjnie przerosłej.

Substancja międzykomórkowa wypełniała część przestrzeni w kanałkach międzykomórkowych, pomiędzy komórkami interkapilarnymi i wyrostkami komórek epitelialnych. Gęstość elektronowa tej substancji była różnorodna i zmienna (od gęstości środkowej warstwy błony podstawowej do gęstości plazmy krwi). Najczęściej była pośrednia. Substancja międzykomórkowa rozmieszczona była nieregularnie bez ostrych powiązań, największe jej nagromadzenie i wzmożoną gęstość obserwowano się w bezpośrednim sąsiedztwie błony podstawowej. Zatopienie materiału w metakrylanie n-butylu w wielu przypadkach nie pozwalało na obserwację rozmieszczenia i jakości substancji międzykomórkowej. W żadnej z grup doświadczalnych i nawet po dobarwieniu skrawków w octanie uranylu nie spostrzegano się kolagenu lub innych struktur, składników włóknistych.

Błona podstawowa grubości 1560—1580 Å ciągnęła się od obwodowej części ściany naczyń włosowatych zespołu naczyniowego, przy czym otaczała i wiązała cały zespół, nie wchodząc do jego wnętrza (ryc. 1—14). Utworzona była z trzech warstw: wewnętrznej i zewnętrznej mniej gęstych i gęstej warstwy środkowej. Środkowa, gęsta warstwa błony, grubości 460—650 Å, ulegała najmniejszym zmianom w warunkach doświadczenia. Była błoną jednorodną, nie stwierdzano w niej struktur włóknistych. Zewnętrzna, mniej gęsta warstwa błony podstawowej przebiegała pomiędzy warstwą środkową i cytoplazmą komórek epitelialnych, obejmując zarówno wyrostki stopkowate jak i ciało tych komórek. Grubość tej warstwy była różna, w nerce normalnej wynosiła średnio 610 Å, w nerce kompensacyjnie przerosłej wraz z postępem kompensacji ulegała ona poszerzeniu i w drugim miesiącu kompensacji wynosiła 820 Å. Wyrostki stopkowate w nerce kontrolnej były lekko, panewkowato zagłębione w tej warstwie. W nerce kompensacyjnej w miarę upływu czasu kompensacji zagłębienia te były głębsze, a pomiędzy błoną graniczną wyrostków i tą warstwą błony podstawowej pojawiała się mniej gęsta przestrzeń o wymiarach 80—100 Å (ryc. 7).

Wewnętrzna, mniej gęsta warstwa była najcieńsza i wynosiła 300 Å. Nie spostrzegano się jej pogrubienia w warunkach doświadczalnych a tylko gęstość elektronowa ulegała znacznym zmianom, co może być wynikiem różnic w jej zdolności do ultrafiltracji. Warstwa ta w okolicy środkowej zespołu naczyniowego niepostrzeżenie przechodziła w substancję międzykomórkową, wypełniającą kanałki międzykomórkowe tej części.

OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Mikroskop elektronowy pozwolił na przebadanie związku struktury i funkcji oraz związku anatomicznego składowych zespołu naczyniowego kłębka nerkowego w nerce prawidłowej szczura i w warunkach doświadczalnych. Niektórzy autorzy znaleźli pojedynczą, jednorodną błonę podstawową, otaczającą naczynia kłębka i pozostającą na całej przestrzeni poniżej komórek epitelialnych (Hall, Kurtz, Sakaguchi, Suzuki). Inni natomiast sądzili, że istnieją dodatkowe błony otaczające naczynia włosowate i wnikające pomiędzy komórki śródbłonka i grupę komórek środkowych (Bergstrand, Farquhar, Pak Poy, Yamada). Uważano, że komórki strefy środkowej należą do śródbłonka (Bergstrand, Farquhar, Hall), są zmienionymi komórkami śródbłonka, lub że ta strefa komórek składa się z dwu typów komórek Bencosme i wsp., Benedetti, Oberling i wsp., Pak Poy, Policard i wsp.). W tych dwu typach komórek odróżniano komórki śródbłonka i mezangialne albo międzywłośniczkowe. Autorzy, którzy są zgodni co do rozciągłości błony podstawowej, jej natury i roli w zespole naczyniowym nie zawsze są zgodni co do natury, roli i pochodzenia poszczególnych komórek.

Komórki międzywłośniczkowe środkowej części zespołu naczyniowego odróżniano od komórek śródbłonka na podstawie ich położenia, a przede wszystkim czynności. W żadnym wypadku nie zauważono, aby komórki międzywłośniczkowe wytwarzały wypustki, wyrostki wyściełające lub tworzące światło naczyń włosowatych, co niewątpliwie musiałyby mieć miejsce gdybyśmy je zaliczyli do komórek śródbłonka. Nie zauważono również w żadnej grupie doświadczalnej, by komórki śródbłonka wysyłały wypustki w kierunku środkowej części zespołu, tj. do komórek międzywłośniczkowych. Pomiedzy tymi dwoma typami komórek nie zauważono różnicy w budowie jądra i cytoplazmy. Yamada opisał twory włókniste tylko w cytoplazmie komórek międzywłośniczkowych. Latta natomiast obserwował twory włókniste w obydwu typach komórek. W naszych badaniach struktury włókniste w cytoplazmie podstawowej można było obserwować tak w komórkach międzywłośniczkowych, jak w komórkach śródbłonka i w komórkach epitelialnych (ryc. 3 i 6—14). Obserwowane struktury włókniste były zróżnicowaniem ergastoplazmy. Zwiększenie struktur włóknistych w cytoplazmie w warunkach doświadczalnych obserwowano jedynie w komórkach międzywłośniczkowych. Równoczesne powiększenie procesu mikropinocytozy w tych komórkach w nerce kompensacyjnie przerosłej mogło wskazywać na duży ich udział w procesie ultrafiltracji. Najszybciej i najwyraźniej reagowały na zmienione warunki komórki

epitelialne. Komórki te wraz ze swymi wyrostkami stanowiły pole o dużej powierzchni, znacznie większej aniżeli powierzchnia komórek śródbłonna. Dlatego też wydaje się, że mogą być one zdolne do szybkiej odpowiedzi na warunki doświadczalne, a szczególnie szybko reagują na czynniki patologiczne (Latta i wsp.). Były rozmieszczone strategicznie na obwodzie naczyń włosowatych zespołu naczyniowego i wydaje się prawdopodobne, że mogą one kontrolować krążenie krwi w kłębku nerkowym nie tylko w warunkach fizjologicznych, ale dzięki szybkiej reakcji na czynniki patologiczne kontrolują, jeżeli nie ustalają krążenia krwi w kłębku nerkowym w warunkach doświadczalnych lub schorzeniach nerek. W nerce kompensacyjnie przerosłej już od drugiego dnia kompensacji wykazywały one duży stopień bujania (ryc. 3).

W drugim miesiącu kompensacji przestrzenie Bowmana były prawie całkowicie wypełnione cytoplazmą komórek epitelialnych i ograniczały się do nieregularnych wąskich kanałów (ryc. 10—14). Zwiększenie masy cytoplazmatycznej w przestrzeniach Bowmana i poszerzenie warstwy zewnętrznej błony podstawowej niewątpliwie musi wpływać na podniesienie procesu ultrafiltracji naczyń włosowatych kłębka oraz na regulację przepływu krwi przez te naczynia. Wzmożenie procesu ultrafiltracji i przesączalności naczyń włosowatych może być również wynikiem poszerzenia porów w cytoplazmie komórek śródbłonna. Struktura cytoplazmy komórek epitelialnych, zwiększenie ilości mitochondriów, lizosomów i wakuoli (ryc. 10—14) może świadczyć o możliwości wydzielania przez nie substancji wpływających na przenikliwość naczyń włosowatych kłębka, na przepływ krwi lub jej skład. Możliwość regulacji mechanicznej i humoralnej w obrębie kłębka nerkowego przez komórki epitelialne sugerowali Latta i wsp. obserwując prawidłową nerkę szczura.

Substancja międzykomórkowa była również przedmiotem wielu dyskusji i różnych poglądów. Suzuki opisał ją jako materiał bezstrukturalny, wypełniający nieregularne przestrzenie pomiędzy komórkami interkapilarnymi i nazwał ją matrycą mezangialną. Wielu innych autorów uważało, że jest to część błony podstawowej, która rozszczała się i wchodziła pomiędzy komórki międzykapilarne i epitelialne (Bergstrand, Farquhar, Pak Poy, Yamada). Wniosek ten za błędny uważali Latta i wsp. Ten błędny wniosek łatwo było wysnuć, ponieważ gęstość elektronowa tej substancji i błony podstawowej mogą być bardzo podobne przy zatapianiu skrawków w metakrylanach. Identyfikację substancji międzykomórkowej dającej dodatnią reakcję PAS przeprowadzili Kurtz i Mc Manus i wydaje się słuszny pogląd, że odszczepiona albo w całości błona podsta-

wowa, albo tylko jej warstwa jak również komórki tej okolicy nie zawierają dostatecznej ilości substancji PAS dodatniej do jej wykrycia. Różna gęstość elektronowa substancji międzykomórkowej w warunkach doświadczalnych — przeroście kompensacyjnym nerki, jej bezstrukturalny wygląd może wskazywać, że ma ona konsystencję żelu o zmiennym stopniu przepuszczalności. Podobnie jak Latta w nerce normalnej szczura, tak i my w warunkach doświadczalnych nie spotkaliśmy w substancji międzykomórkowej kollagenu, który obserwowano w nerce prawidłowej żaby (Bencosme i wsp.).

Gęsta warstwa błony podstawowej była warstwą ciągłą, tworzyła ona duże fałdy ponad światłem naczyń włosowatych co potwierdziły wyniki w mikroskopie świetlnym (Elias, Kurtz i Mc Manus) i elektronowym (Hall, Kurtz, Latta i wsp., Sakaguchi, Suzuki). Jej ściśły związek z komórkami epitelialnymi, nieznaczne poszerzenie do 820 Å w warunkach doświadczalnych przy równoczesnym rozroście jedynie tych komórek pozwala podtrzymywać pogląd (Latta), że komórki epitelialne mogą być odpowiedzialne za jej wytwarzanie. Dalsze badania obejmujące dłuższe okresy procesu kompensacji w nerce mogły dać odpowiedź na pytanie dotyczące możliwości powstawania nowych fałdów tej błony i nowych naczyń włosowatych w poszerzonym kłębku nerkowym. Różna zdolność barwienia się jej octanem uranylu na ultracienkich skrawkach jest prawdopodobnie wynikiem różnej przenikliwości tej warstwy błony podstawowej. Pogląd ten wydaje się słuszny, jeżeli przyjmiemy za Lattą jej wielkocząsteczkową budowę.

Zewnętrzna i wewnętrzną, mniej gęste warstwy błony podstawowej uważa się za jej części składowe. Obie te warstwy prawdopodobnie działają jako materiał cementujący. Zewnętrzna warstwa ulega nieznacznemu poszerzeniu w procesie kompensacji nerki, a na jej zewnętrznej powierzchni odkłada się 400—840 Å warstwa bezstrukturalnej substancji. Substancja ta bez wyraźnego brzegu zewnętrznego ogranicza wraz z wyrostkami komórek epitelialnych początkowe odcinki przestrzeni Bowmana i jest prawdopodobnie substancją międzykomórkową. Jej zwiększenie w procesie kompensacji może wpływać na wzrost ciśnienia osmotycznego w przestrzeniach Bowmana, co z kolei powoduje wzmocnienie procesu ultrafiltracji.

Na podstawie obserwacji zachowania się i struktury błony podstawowej w warunkach przerostu kompensacyjnego można przyjąć pogląd większości autorów, że jest ona prawdopodobnie główną barierą filtracyjną i że ultrafiltracja jest procesem fizycznym w kłębku nerkowym, a komórki wchodzące w skład budowy naczyń włosowatych zużywają

minimalną ilość energii w tym procesie. Udział komórek włosowatych jest prawdopodobnie skierowany do wytworzenia i utrzymania odpowiednich warunków ultrafiltracji.

PIŚMIENICTWO

1. Bargmann W., Schliebler T. H., Knopp A.: Über die sog. Filamente der Epithelzellen des Plexus chorioideus. *Z. Zellforsch. u. mikr. Anat.* **42**, 372—383, 1955.
2. Bencosme S., Stone R. S., Latta H., Madden S. C.: Acute Reactions with Collagen Production in Renal Glomeruli of Rats as Studied Electron Microscopically. *J. Ultrastructure Research.* **3**, 171—185, 1959.
3. Bergstrand A.: Electron Microscopic Investigations of Renal Glomeruli. *Lab. Invest.* **6**, 191—204, 1957.
4. Bergstrand A., Bucht H.: Anatomy of the Glomerulus as Observed as Biopsy Material from Young and Healthy Human Subjects. *Z. Zellforsch. u. mikr. Anat.* **84**, 51—73, 1958.
5. Bergstrand A., Bucht H.: The Glomerular Lesions of *Diabetes mellitus* and their Electron Microscope Appearances. *J. Pathol. Bacteriol.* **77**, 231—242, 1959.
6. Claude A.: Problems of Fixation for Electron Microscopy. X Congrès international de biologie cellulaire. Paris, 1960. *Pathol. et Biol.* **9**, 933—947, 1961.
7. Farquhar M. G., Hopper J., Moon H. D.: Diabetic glomerulosclerosis: Electron and Light Microscopic Studies. *Am. J. Pathol.* **35**, 721—753, 1959.
8. Farquhar M. G., Palade G. E.: Segregation of Ferritin in Glomerular Protein Absorption Droplets. *J. Biophys. Biochem. Cytol.* **7**, 297—304, 1960.
9. Farquhar M. G.: Electron Microscopy of Renal Biopsies. *Bull. N. Y. Acad. Med.* **36**, 419—423, 1960.
10. Farquhar M. G., Wissig S. L., Palade G. E.: Glomerular Permeability. I. Ferritintransfer across the Normal Glomerular Capillary Wall. *J. Exp. Med.* **131**, 47—66, 1961.
11. Kurnik N. B.: Cytochemical Changes during Normal Growth and Compensatory Hypertrophy of the Rat Kidney. *J. Histochem. Cytochem.* **3**, 290—294, 1955.
12. Kurtz S. M., Mc Manus J. F. A.: A Reconsideration of the Development, Structure and Disease of the Human Renal Glomerulus. *Ann. Heart. J.* **58**, 357—371, 1959.
13. Kurtz S. M., Feldman J. D.: Experiments Studies on the Formation of the Glomerular Basement Membrane. *J. Ultrastructure Research* **6**, 19—27, 1962.
14. Latta H., Maunsbach A. B., Madden S. C.: The Centrolobular Region of the Renal Glomerulus Studied by Electron Microscopy. *J. Ultrastructure Research.* **4**, 455—472, 1960.
15. Latta H.: The Plasma Membrane of Glomerular Epithelium. *J. Ultrastructure Research.* **6**, 407—412, 1962.
16. Mandel P., Mandel L., Jacob M.: Action de la thyroxine sur l'hypertrophie renale compensatrice arrivée en terme de son évolution. *C. r. Acad. Sci. (Paris)* **234**, 147—149, 1952.

17. Pak Poy R. K. F.: Electronmicroscopy of the Mammalian Renal Glomerulus, the Problem of Intercapillary Tissue and the Capillary Loop Basement Membrane. *Am. J. Pathol.* **34**, 855—895, 1958.
18. Policard A., Collet A., Giltaire-Ralyte L.: Recherches au microscope électronique sur le structure du glomérule renal des mammifères. *Arch. Anat. Microscop.* **44**, 1—19, 1955.
19. Schmiedt E.: Zellkerngrösse und sogenannte kompensatorische Hypertrophie der Mäuseniere. *Z. mikrosk. anat. Forsch.* **57**, 249—275, 1951.
20. Sulkin N. M.: Cytologic Studies of the Remaining Kidney Following Unilateral Nephrectomy in the Rat. *Anat. Rec.* **105**, 95—111, 1949.
21. Sakaguchi H., Suzuki Y., Yamaguchi T.: *Acta Pathol. Japon.* **7**, 53, 1957.
22. Suzuki Y.: *Keio J. Med.* **8**, 129, 1959.
23. Yamada E.: The Final Structure of the Renal Glomerulus of the Mouse. *J. Biophys. Biochem. Cytol.* **1**, 551—566, 1958.
24. Yamada E.: Collagen Fibrils within the Renal Glomerulus. *J. Biophys. Biochem. Cytol.* **7**, 407—408, 1960.

OBJAŚNIENIA SKRÓTÓW UŻYWANYCH W TEKŚCIE I OPISIE ZDJĘĆ

K M	— Komórka międzywłośniczkowa
K S	— Komórka śródbłonka
K E	— Komórka epitelialna
S M	— Substancja międzykomórkowa
B P	— Błona podstawowa
W W	— Warstwa wewnętrzna błony podstawowej
W S	— Warstwa środkowa błony podstawowej
W Z	— Warstwa zewnętrzna błony podstawowej
W E	— Wyrostki komórek epitelialnych
P B	— Przestrzeń Bowmana
N W	— Naczynie włosowate
P	— Pory w cytoplazmie komórek śródbłonka
K	— Kanaliki międzykomórkowe
E	— Erytrocyt

OBJAŚNIENIA RYCIN

Ryc. 1. Schemat budowy zespołu naczyniowego kłębka nerkowego.

Ryc. 2. Naczynia włosowate kłębka nerkowego. Nerka prawidłowa szczura. Widoczne naczynia włosowate (**NW**) otoczone trójwarstwową błoną podstawową (**BP**). Przestrzeń Bowmana (**PB**) nieregularne, miernie wypełnione wyrostkami i cytoplazmą komórek epitelialnych (**KE**). W śródbłonku wyścielającym światło naczyń włosowatych występują liczne pory (**P**). Utrwalanie w czterotlenku osmu. Pow. 14 000 x.

Ryc. 3. Nerka kompensacyjnie przerosła, 2 dni. Naczynie włosowate (**NW**) środkowej części kłębka nerkowego. Przestrzeń Bowmana (**PB**) wypełnione rozrastającymi się wyrostkami komórek epitelialnych (**KE**). Utrwalanie w czterotlenku osmu. Barwienie w 5% nadmanganianie potasu. Pow. 14 000 x.

Ryc. 4. Nerka kompensacyjnie przerosła, 4 dni. Naczynie włosowate (**NW**) środkowej strefy kłębka nerkowego. Charakterystyczny układ komórki śródbłonka

na wewnętrznej powierzchni błony podstawowej (**BP**). Utrwalanie w czterotlenku osmu. Pow. 14 000 x.

Ryc. 5. Nerka kompensacyjnie przerosła, 5 dni. Naczynie włosowate środkowej części kłębka nerkowego. Dobrze widoczna trójwarstwowa błona podstawowa (**BP**). Cytoplazma komórki śródbłonki układa się różańcowato na wewnętrznej powierzchni błony podstawowej. Widoczne w niej bardzo liczne pory (**P**). Utrwalanie w czterotlenku osmu. Pow. 16 000 x.

Ryc. 6. Nerka kompensacyjnie przerosła, 7 dni. Naczynie włosowate środkowej części kłębka nerkowego. Dobrze widoczna trójwarstwowa błona podstawowa (**BP**). Cytoplazma komórki epitelialnej (**KE**) rozrosła, wypełnia większą część przestrzeni Bowmana. Utrwalanie w czterotlenku osmu. Pow. 14 000 x.

Ryc. 7. Nerka kompensacyjnie przerosła, 2 tygodnie. Naczynia włosowate środkowej części kłębka nerkowego. Zwraca uwagę cienka warstwa (80—100 Å) znajdująca się pomiędzy warstwą zewnętrzną błony podstawowej a podstawami wyrostków komórek epitelialnych. Utrwalanie w czterotlenku osmu. Pow. 16 000 x.

Ryc. 8. Nerka kompensacyjnie przerosła, 2 tygodnie. Naczynie włosowate środkowej części kłębka nerkowego. Zwraca uwagę duża rozrosła komórka epitelialna (**KE**) wypełniająca prawie w całości przestrzeń Bowmana (**PB**). Utrwalanie w czterotlenku osmu. Pow. 24 000 x.

Ryc. 9. Nerka kompensacyjnie przerosła, 2 tydzień. Komórka śródbłonki (**KS**). Utrwalanie w czterotlenku osmu. Pow. 25 000 x.

Ryc. 10. Nerka kompensacyjnie przerosła, 3 tygodnie. Naczynie włosowate środkowej strefy kłębka nerkowego. W przestrzeniach Bowmana (**PB**) rozrosłe komórki epitelialne (**KE**). Błona podstawowa nieco poszerzona (**BP**). Utrwalanie w czterotlenku osmu. Pow. 24 000 x.

Ryc. 11. Nerka kompensacyjnie przerosła, 4 tygodnie. Naczynia włosowate środkowej części kłębka nerkowego. W przestrzeniach Bowmana widoczne rozrosłe komórki epitelialne (**KE**). Utrwalanie 10% formalina, inkubacja F K, dotrwalanie w czterotlenku osmu. Pow. 24 000 x.

Ryc. 12. Nerka kompensacyjnie przerosła, 2 miesiące. Naczynie włosowate (**NW**) środkowej strefy kłębka nerkowego. Widoczny dalszy rozrost komórek epitelialnych (**KE**). Utrwalanie 10% formalina, inkubacja F K, dotrwalanie w czterotlenku osmu. Pow. 22 000 x.

Ryc. 13. Nerka kompensacyjnie przerosła, 2 miesiące. Naczynia włosowate (**NW**) środkowej strefy kłębka nerkowego. Przestrzenie Bowmana wypełnione cytoplazmą komórek epitelialnych (**KE**). Utrwalanie 10% formalina, inkubacja F K, dotrwalanie w czterotlenku osmu. Pow. 24 000 x.

Ryc. 14. Nerka kompensacyjnie przerosła, 4 miesiące. Naczynie włosowate (**NW**) środkowej części kłębka nerkowego. Cytoplazma rozrosłych komórek epitelialnych wypełnia przestrzenie Bowmana (**PB**). Utrwalanie 10% formalina, inkubacja F K, dotrwalanie w czterotlenku osmu. Pow. 24 000 x.

РЕЗЮМЕ

На основании наблюдений над поведением основной диафрагмы в почечном клубочке в условиях компенсационной гипертрофии можно принять мнение большинства авторов о том, что видимо она представляет собой главный фильтрационный барьер. Ультрафиль-

трация это физический процесс, происходящий в почечном клубочке. Клетки, из которых построены капиллярные сосуды потребляют лишь минимальное количество энергии в этом процессе. Работа капиллярных клеток видимо направлена на создание и поддержание соответствующих условий для фильтрации.

Рис. 1. Схема строения сосудистой системы почечного клубочка.

Рис. 2. Капиллярные сосуды почечного клубочка. Нормальная почка крысы. Видны капиллярные сосуды (NW), окруженные трёхслойной основной мембраной (BP). Пространства Баумана (PB) нерегулярные, умеренно заполнены отростками и цитоплазмой эпителиальных клеток (KE). В подстилающем эндотелии просвет капиллярных сосудов многочисленные поры (P). Фиксирование в четырехокиси осмия, Увеличение 14.000 ×.

Рис. 3. Компенсационно гипертрофированная почка, 2 дня. Капиллярный сосуд (NW) средней части почечного клубочка. Пространства Баумана (PB) заполнены растущими отростками эпителиальных клеток (KE). Фиксирование в четырехокиси осмия. Окрашивание 5%-ым перманганатом калия. Увеличение 14.000 ×.

Рис. 4. Компенсационно гипертрофированная почка, 4 дня. Капиллярный сосуд (NW) средней полосы почечного клубочка. Характерно расположение эндотелиальной клетки на внутренней поверхности основной мембраны (BP). Фиксирование в четырехокиси осмия. Увеличение 14.000 ×.

Рис. 5. Почка компенсационно гипертрофированная, 5 дней. Капиллярный сосуд средней части почечного клубочка. Хорошо выделяется трехслойная основная мембрана (BP). Цитоплазма эпителиальной клетки образует глыбки на внутренней поверхности основной оболочки. В ней заметны многочисленные поры (P). Фиксирование в четырехокиси осмия. Увеличение 16.000 ×.

Рис. 6. Почка компенсационно гипертрофированная, 7 дней. Капиллярный сосуд средней части почечного клубочка. Хорошо заметна трехслойная основная мембрана (BP). Цитоплазма эндотелиальной клетки (KE) настолько разрослась, что заполняет большую часть пространства Баумана. Фиксирование в четырехокиси осмия. Увеличение 14.000 ×.

Рис. 7. Компенсационно гипертрофированная почка, 2 недели. Капиллярные сосуды средней части почечного клубочка. Обращает на себя внимание тонкий слой (80—100 Å), находящийся между внешним слоем основной мембраны и основанием отростков эпителиальных клеток. Фиксирование четырехокисью осмия. Увеличение 16.000 ×.

Рис. 8. Компенсационно гипертрофированная почка, 2 недели. Капиллярный сосуд средней части почечного клубочка. Обращает на себя внимание большая выросшая эпителиальная клетка (KE) почти полностью заполняющая пространство Баумана (PB). Фиксирование в четырехокиси осмия. Увеличение 24.000 ×.

Рис. 9. Компенсационно гипертрофированная почка, 2-ая неделя. Эндотелиальная клетка (KS). Фиксирование четырехокисью осмия. Увеличение 25.000 ×.

Рис. 10. Компенсационно гипертрофированная почка, 3 недели. Капиллярные сосуды средней части почечного клубочка. В пространствах Баумана (PB) гипертрофированные эпителиальные клетки (KE). Основная мембрана несколько расширена (BP). Фиксирование в четырехокиси осмия. Увеличение 24.000 ×.

Рис. 11. Компенсационно гипертрофированная почка, 4 недели. Капиллярные сосуды средней части почечного клубочка. В пространствах Баумана заметны разросшиеся эпителиальные клетки (KE). Фиксирование 10%-ым формалином, инкубация ФК. Остаточное фиксирование в четырехокиси осмия. Увеличение 24.000 ×.

Рис. 12. Компенсационно гипертрофированная почка, 2 месяца. Капиллярные сосуды (NW) средней полосы почечного клубочка. Заметна пролиферация эпителиальной ткани (KE). Фиксирование 10%-ым формалином, инкубация FK, остаточное фиксирование в четырехокиси осмия. Увеличение 22.000 X.

Рис. 13. Компенсационно гипертрофированная почка, возраст 2 мес. Капилляры сосудов (NW) средней полосы почечного клубочка. Пространства Баумана заполнены цитоплазмой эпителиальных клеток (KE). Фиксирование в 10% формалине, инкубация FK, окончательное фиксирование в четырехокиси осмия, увеличение 24 000 X.

Рис. 14. Компенсационно гипертрофированная почка, 4 месяца. Капиллярные сосуды (NW) средней части почечного клубочка. Цитоплазма разросшихся эпителиальных клеток заполняет пространство Баумана (PB). Фиксирование 10%-ым формалином, инкубация FK, остаточное фиксирование в четырехокиси осмия. Увеличение 24.000 X.

S U M M A R Y

In the conditions of hypertrophic compensation, observations of the behaviour and structure of the basal membrane in the renal glomerulus, seem to corroborate the opinion of the majority of workers about the basal membrane being a supposed main filtration barrier. Ultrafiltration is a physical process in the renal glomerulus, and the cells that form the capillaries have a minimum share in this process. The capillaries cells seem to have probably tendency towards fostering and maintaining appropriate conditions of filtration.

EXPLANATION OF FIGURES

Fig. 1. Scheme of the structure of the capillary system in the renal glomerulus.

Fig. 2. Capillaries of the renal glomerulus. Normal kidney of rat. The capillaries (NW) surrounded by a 3-layer basal membrane (PB) are visible. Bowman's space (PB) irregularly filled up with medium amount of processus and the cytoplasm of epithelial cells (KE). Many openings (P) are visible in endothelial cells which line up interluminal surface of the capillaries. Fixation: osmium tetroxide. Magn. 14 000 x.

Fig. 3. Kidney compensating hypertrophy, 2 days. A capillary (NW) of the middle part of the renal glomerulus. Bowman's space (PB) filled up with processus of epithelial cells, showing tendency to increase (KE). Fixation: osmium tetroxide. Staining in 5% KMnO₄ solution. Magn. 14 000 x.

Fig. 4. Kidney compensating hypertrophy, 4 days. A capillary (NW) in the middle part of the renal glomerulus. A characteristic position of one cell of the endothelium on the inner side of the basal membrane (BP). Fixation: osmium tetroxide. Magn. 14 000 x.

Fig. 5. Kidney compensating hypertrophy, 5 days. Capillaries (NW) of the middle part of the renal glomerulus. A 3-layer basal membrane well visible (BP). The cytoplasm of the endothelial cells is distributed in a rosary-like way on the inner side of the basal membrane. Its numerous openings are visible (P). Fixation: osmium tetroxide. Magn. 16 000 x.

Fig. 6. Kidney compensating hypertrophy, 7 days. Capillaries of the middle part of the renal glomerulus. A 3-layer basal membrane (BP) is well visible. Cytoplasm of the epithelial cell (KE), increased, fills up the great part of the Bowman space. Fixation: osmium tetroxide. Magn. 14 000 x.

Fig. 7. Kidney compensating hypertrophy, 2 weeks. Capillaries of the middle part of the renal glomerulus. Attention is drawn up to a thin layer (80—100 Å) located between the external side of the basal membrane and the base of epithelial cells. Fixation: osmium tetroxide. Magn. 16 000 x.

Fig. 8. Kidney compensating hypertrophy, 2 weeks. Capillaries of the middle part of the renal glomerulus. Attention is drawn up to a large epithelial cell (KE) which nearly fills up the Bowman space (PB). Fixation: osmium tetroxide. Magn. 24 000 x.

Fig. 9. Kidney compensated hypertrophy, 2 weeks. Endothelial cell (KS). Fixation: osmium tetroxide. Magn. 25 000 x.

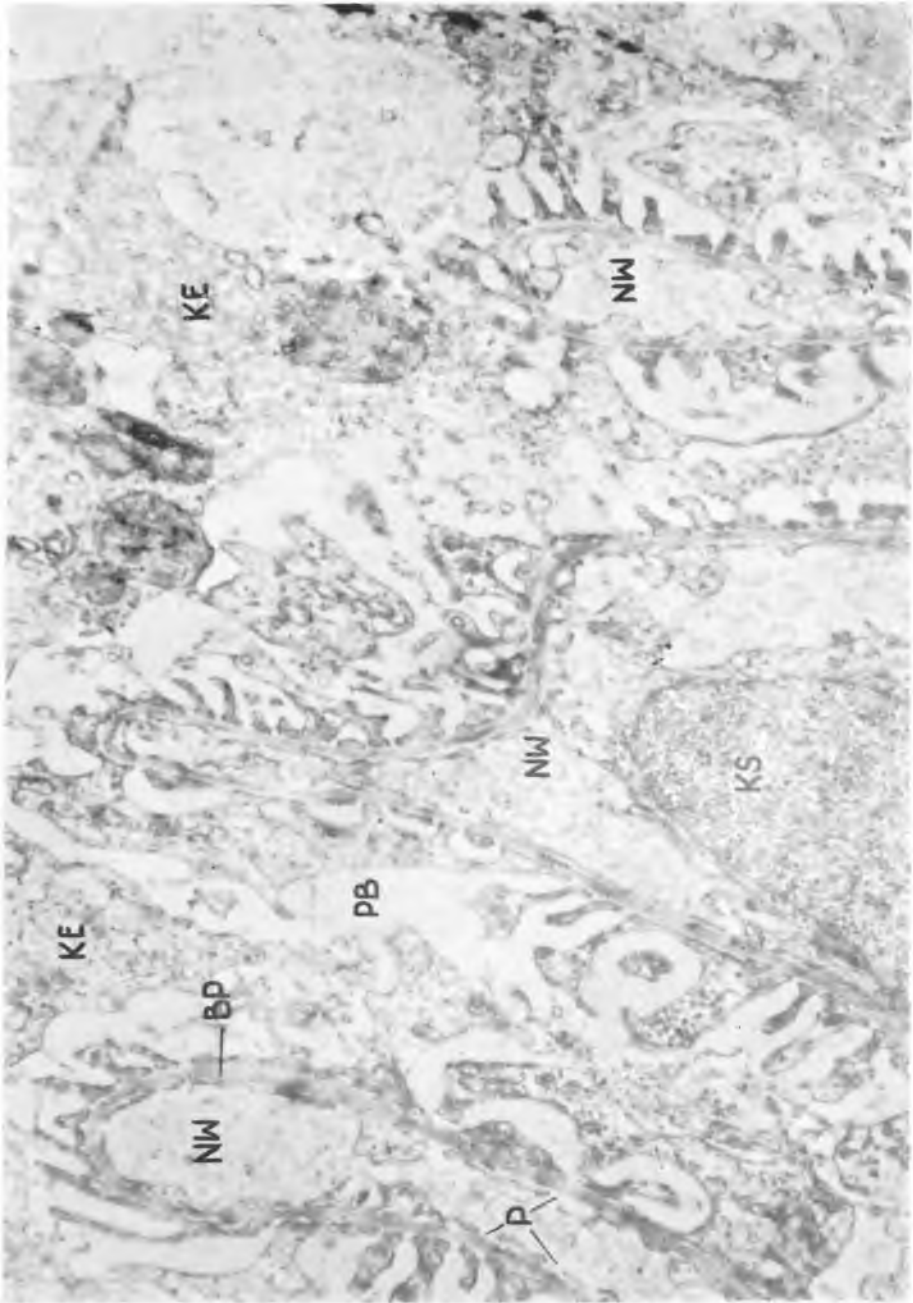
Fig. 10. Kidney compensated hypertrophy, 3 weeks. Capillaries of the middle part of the renal glomerulus. Increased epithelial cell (KE) in the Bowman space (PB). Fixation: osmium tetroxide. Magn. 24 000 x.

Fig. 11. Kidney compensating hypertrophy, 4 weeks. Capillaries of the middle part of the renal glomerulus. In the Bowman spaces increased epithelial cells are visible (KE). Fixation by 10% formaline, incubation Phosphatase Acid, fixation completed by osmium tetroxide. Magn. 24 000 x.

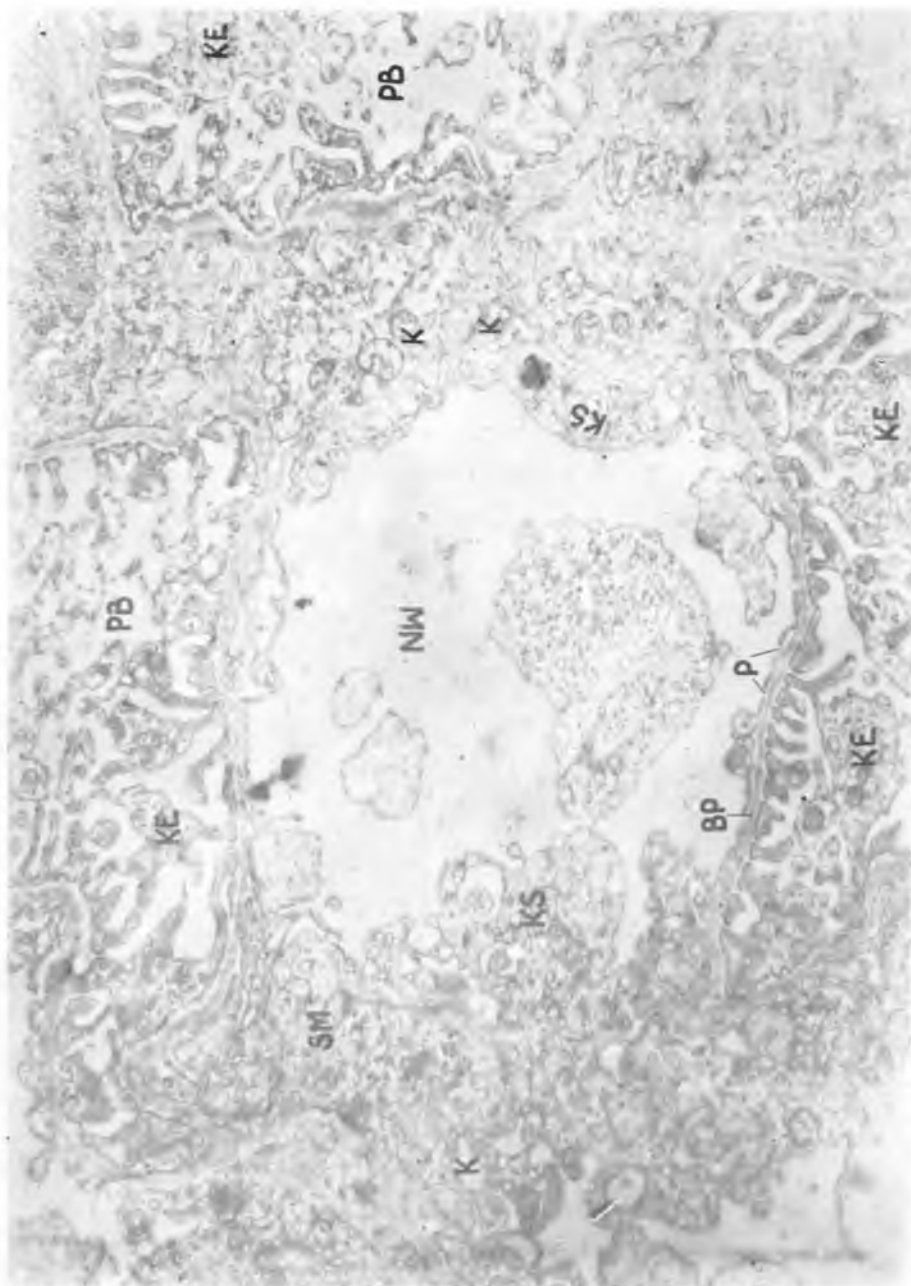
Fig. 12. Kidney compensated hypertrophy, 2 months. Capillaries (NW) of the middle part of the renal glomerulus. Further increase in epithelial cells (KE) is observed. Fixation by 10% formaline, incubation Phosphatase Acid. Fixation completed by osmium tetroxide. Magn. 22 000 x.

Fig. 13. Kidney compensated hypertrophy, 2 months. Capillaries (NW) of the middle part of the renal glomerulus. The Bowman space is filled up with the cytoplasm of epithelial cells (KE). Fixation by 10% formaline, incubation Phosphatase Acid. Fixation completed by osmium tetroxide. Magn. 24 000 x.

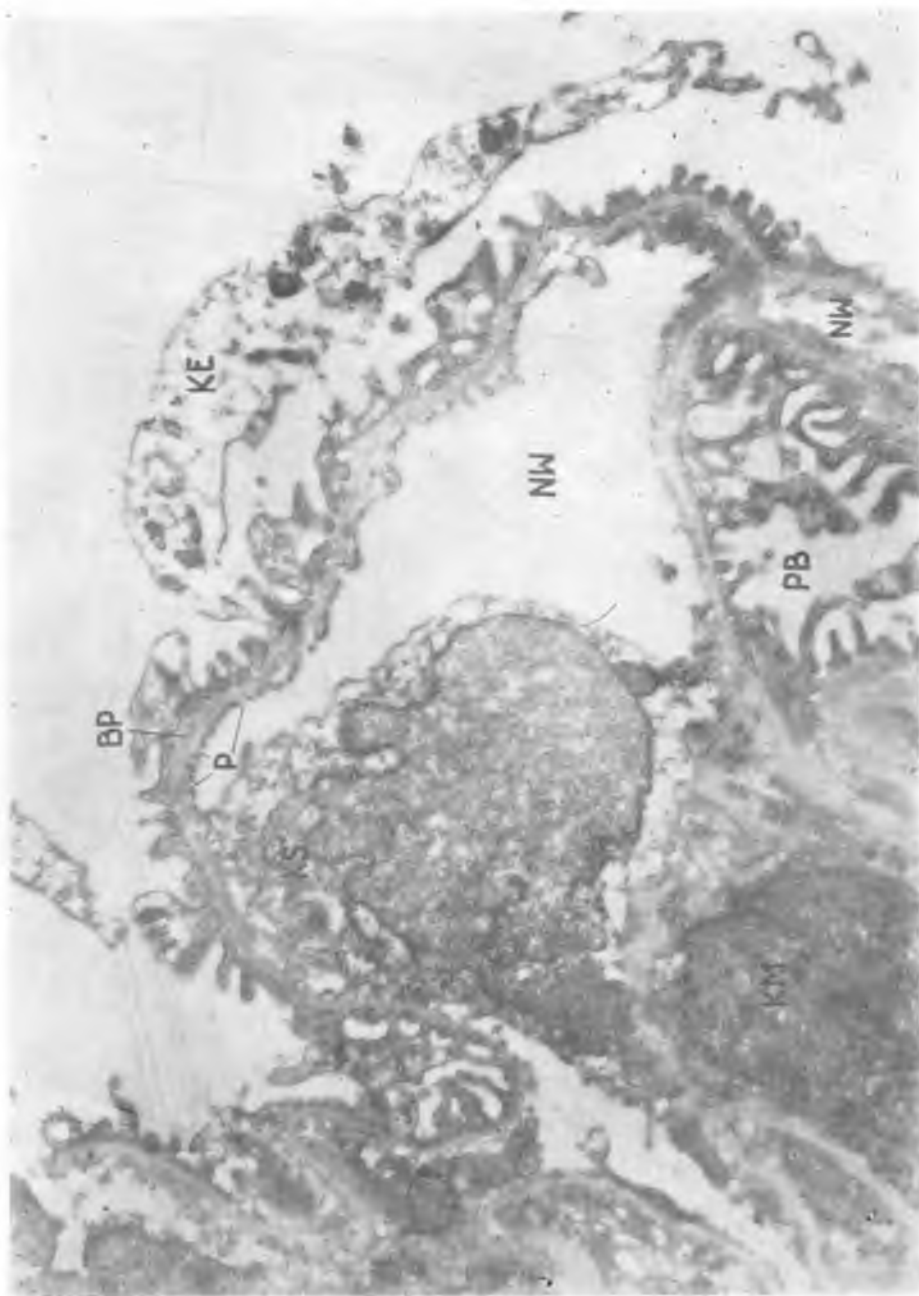
Fig. 14. Kidney compensated hypertrophy, 4 months. Capillaries (NW) of the middle part of the renal glomerulus. The Bowman space (PB) is filled up with the cytoplasm of epithelial cells increased in size. Fixation in 10% formaline, incubation Phosphatase Acid. Fixation completed by osmium tetroxide. Magn. 24 000 x.



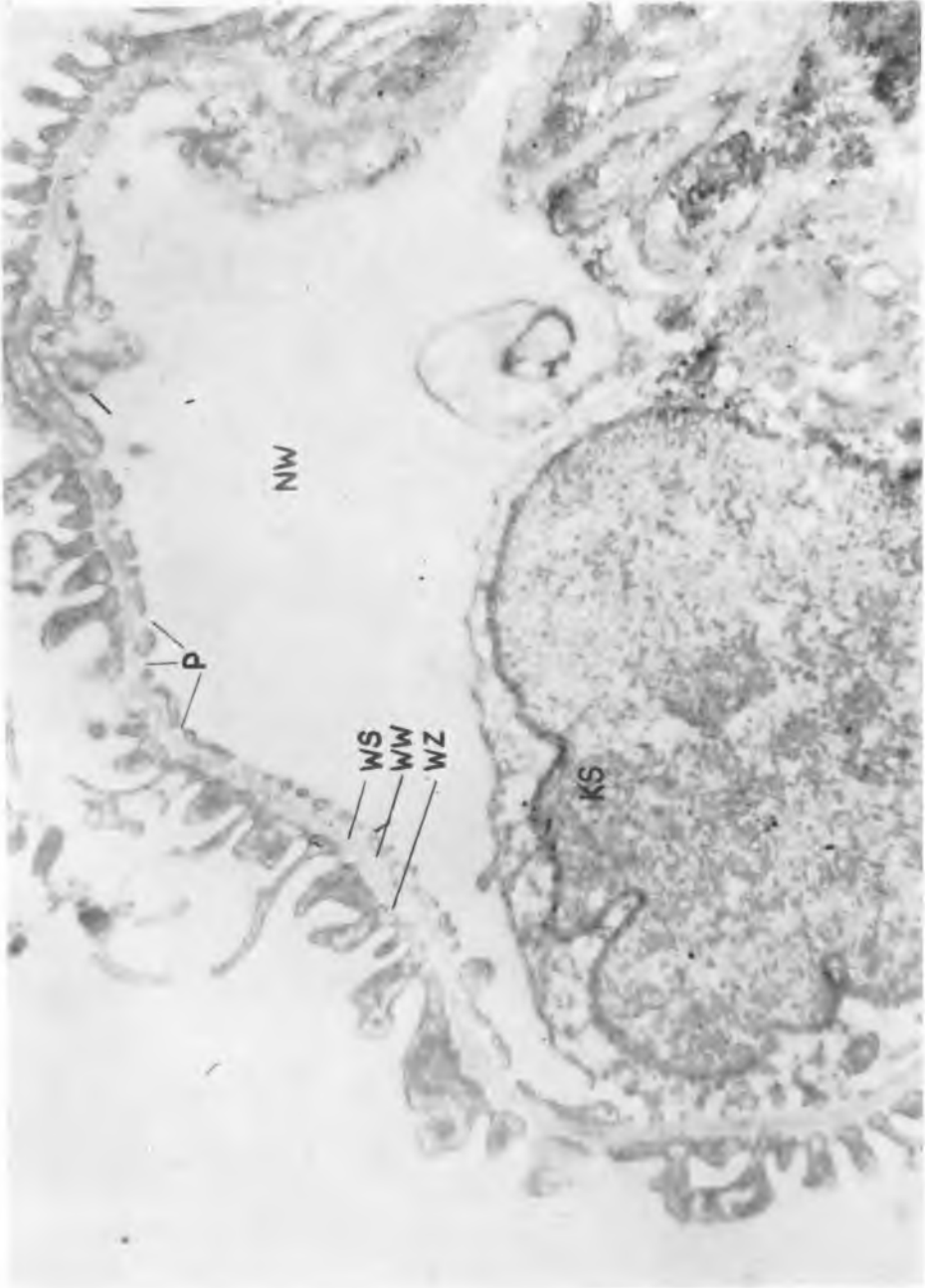
Ryc. 2.



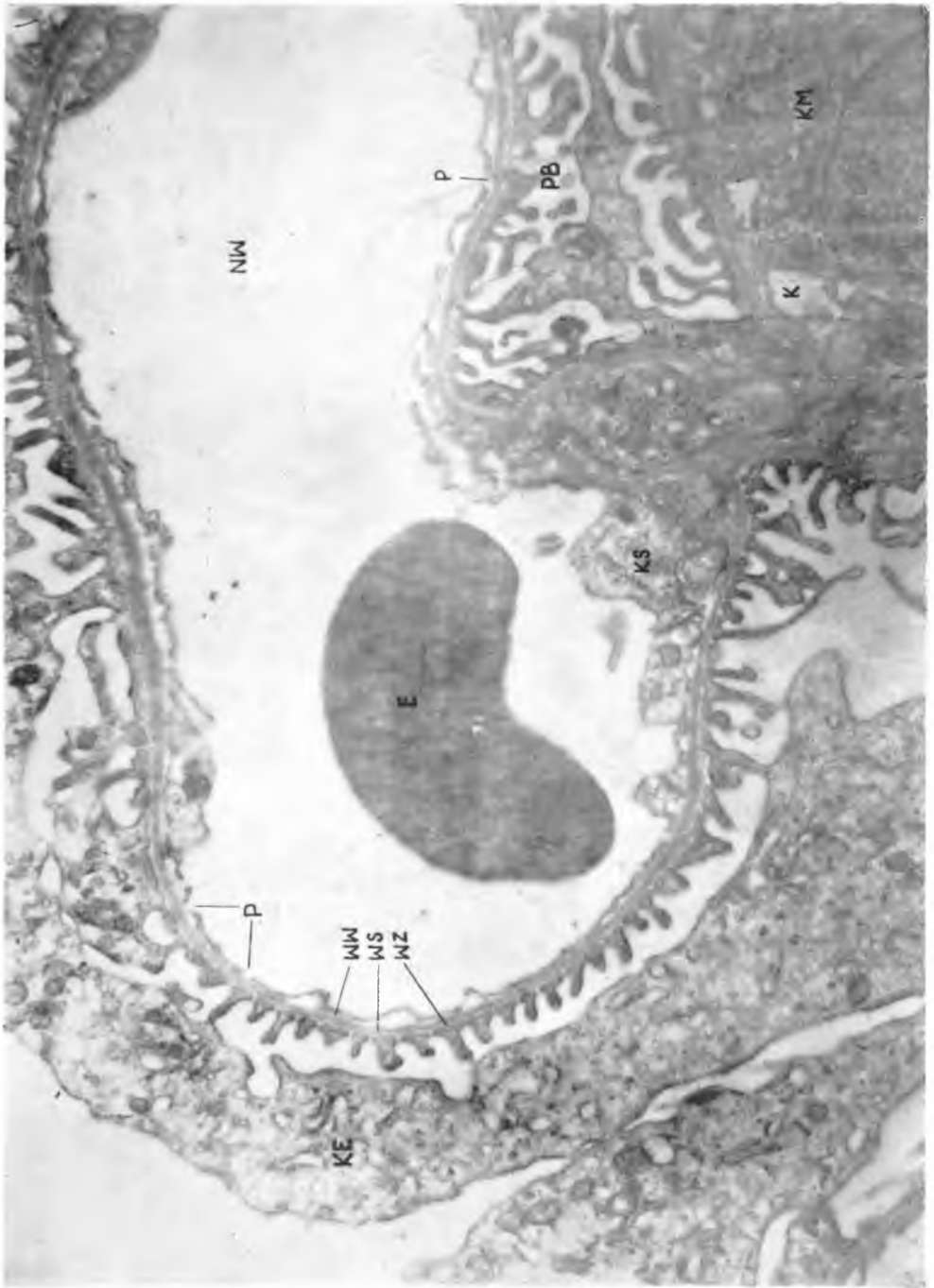
Ryc. 3.



Ryc. 4.

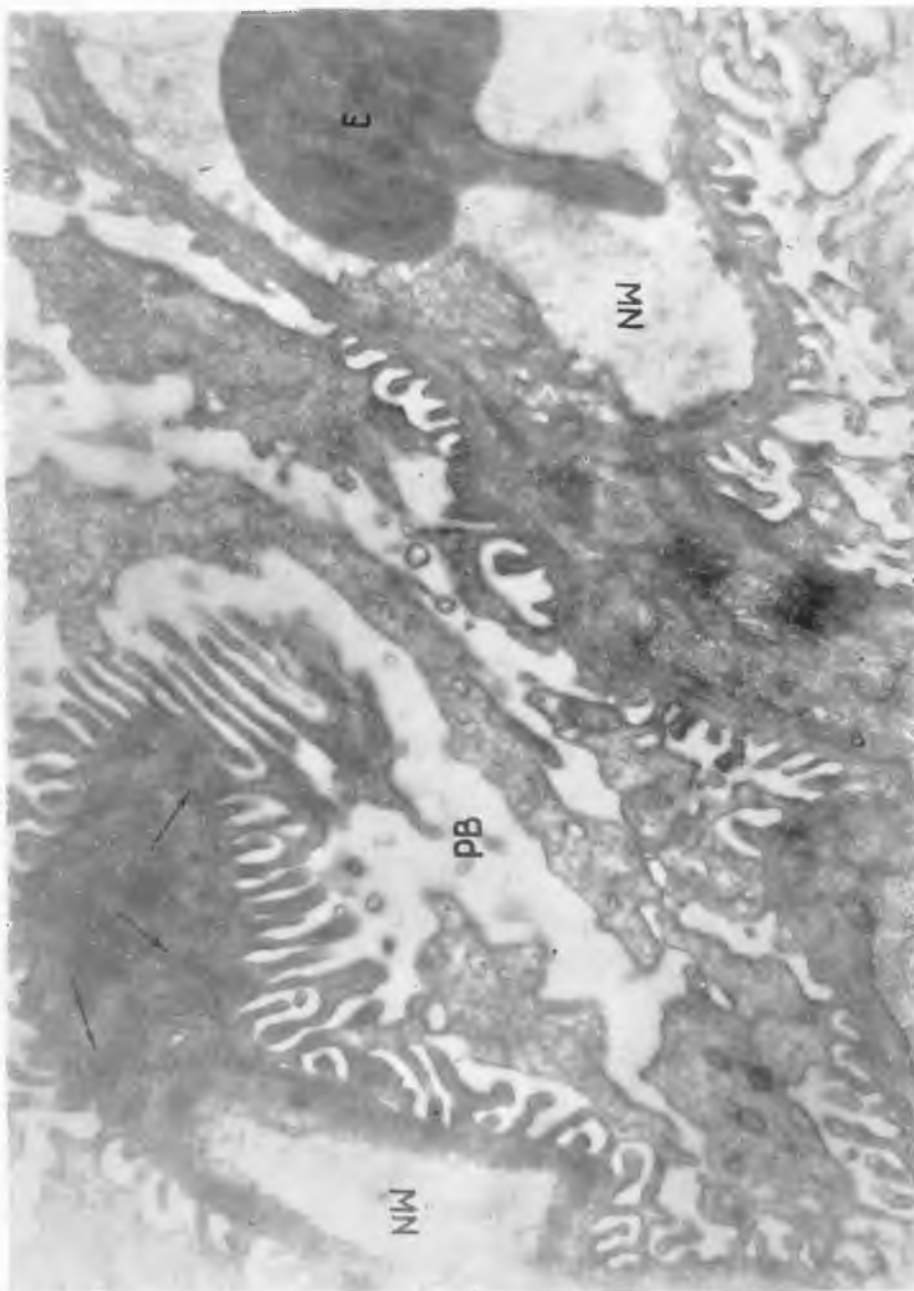


Ryc. 5.

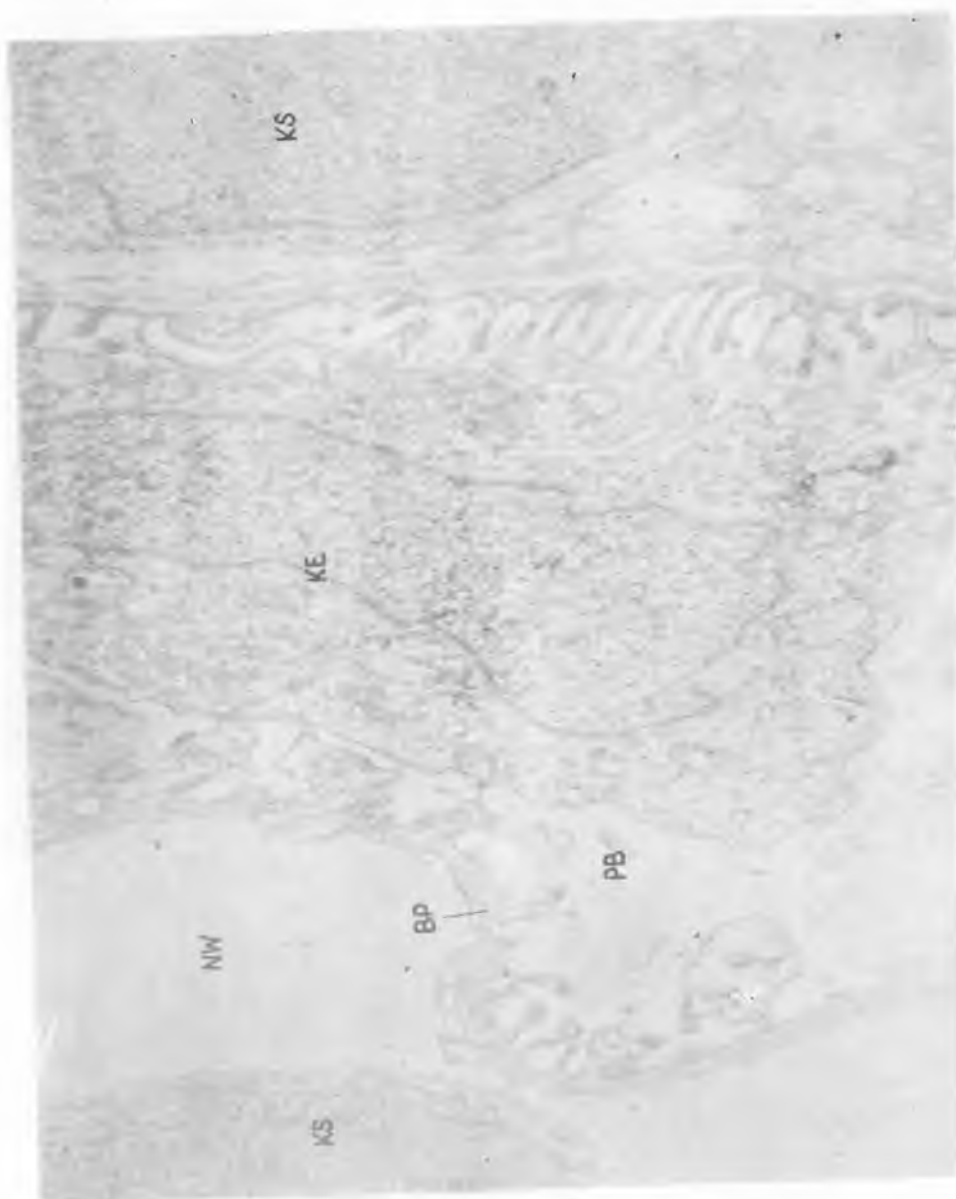


Ryc. 6.

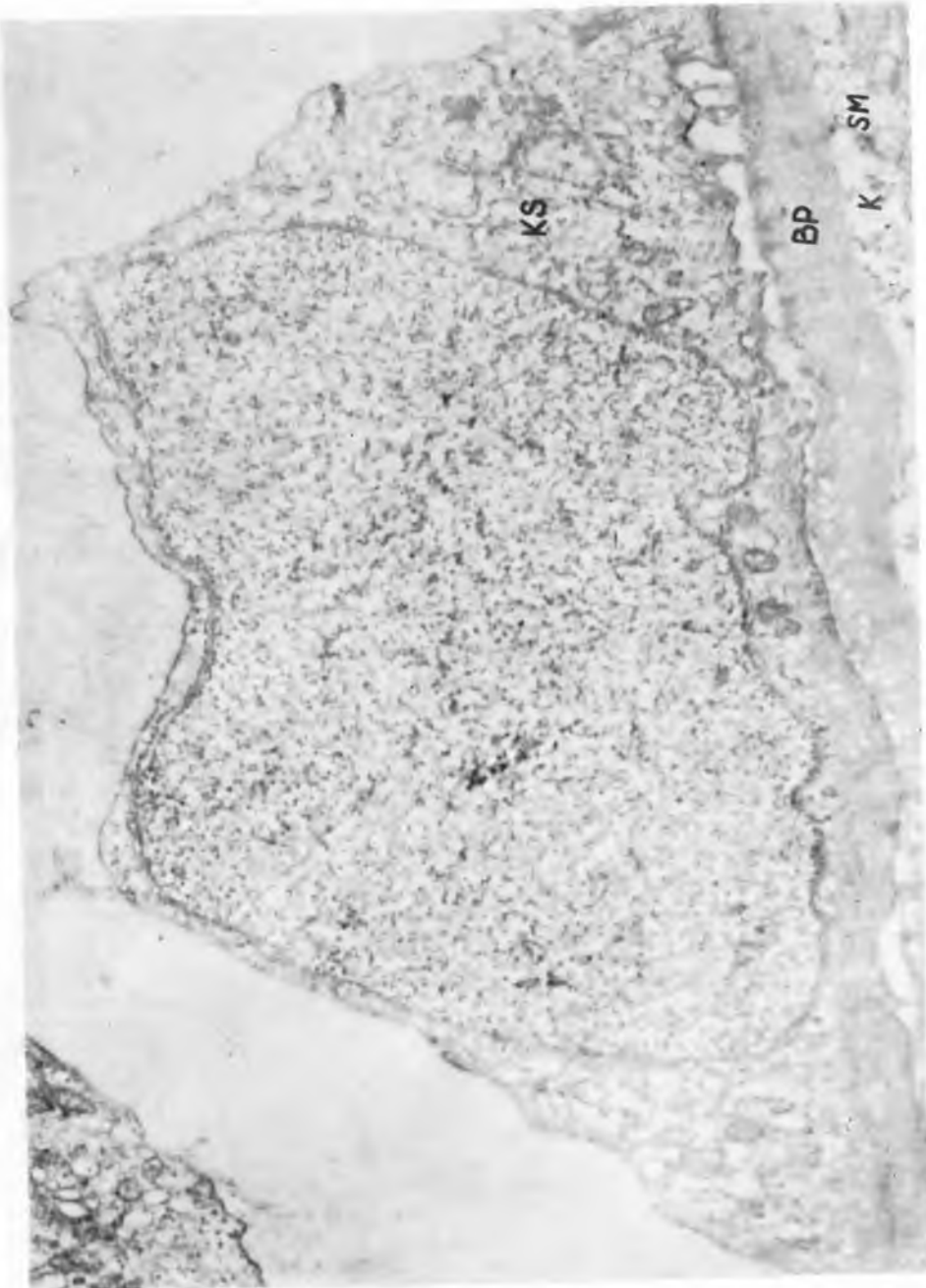
Stefan Dubas



Ryc. 7.

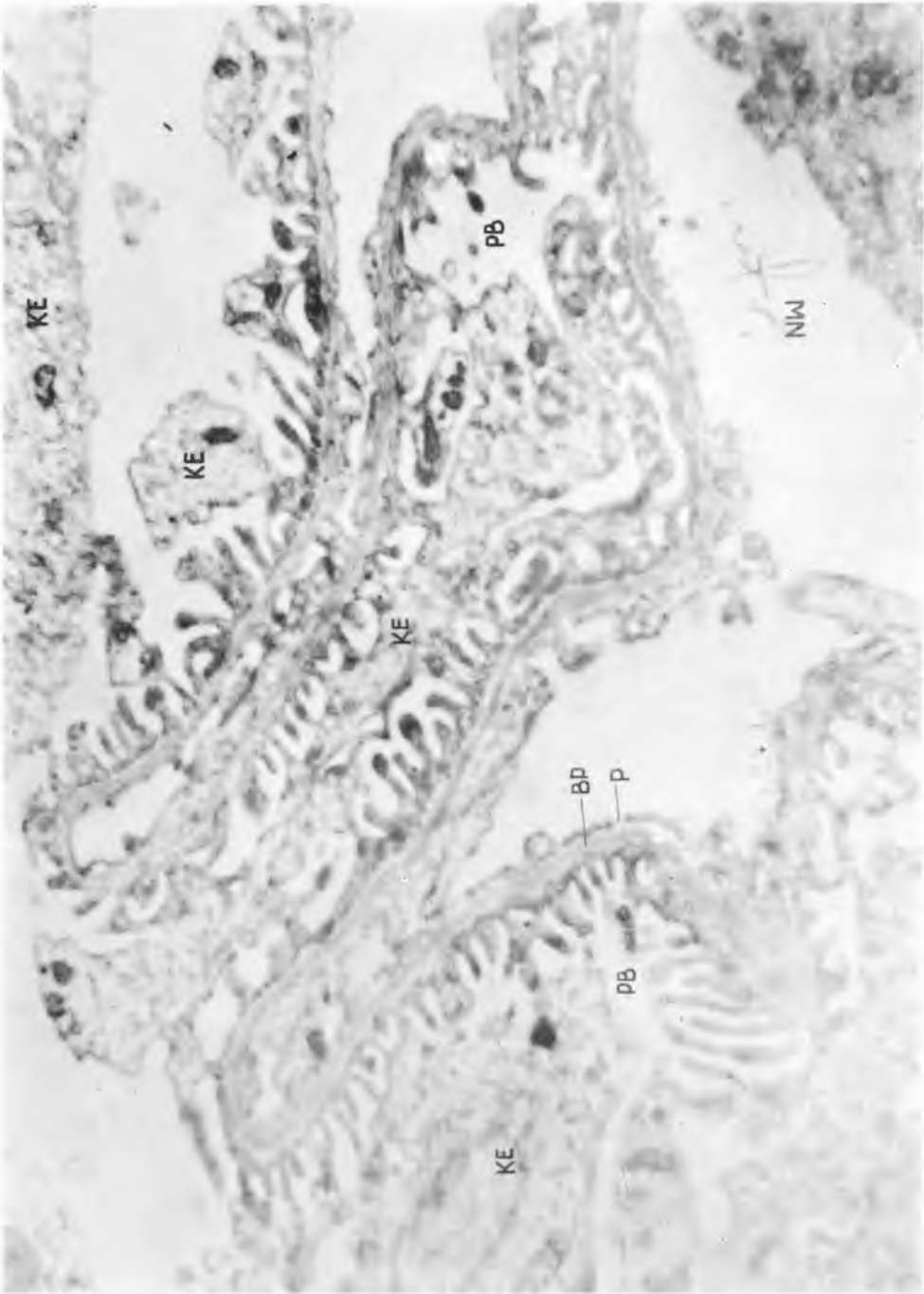


Ryc. 8



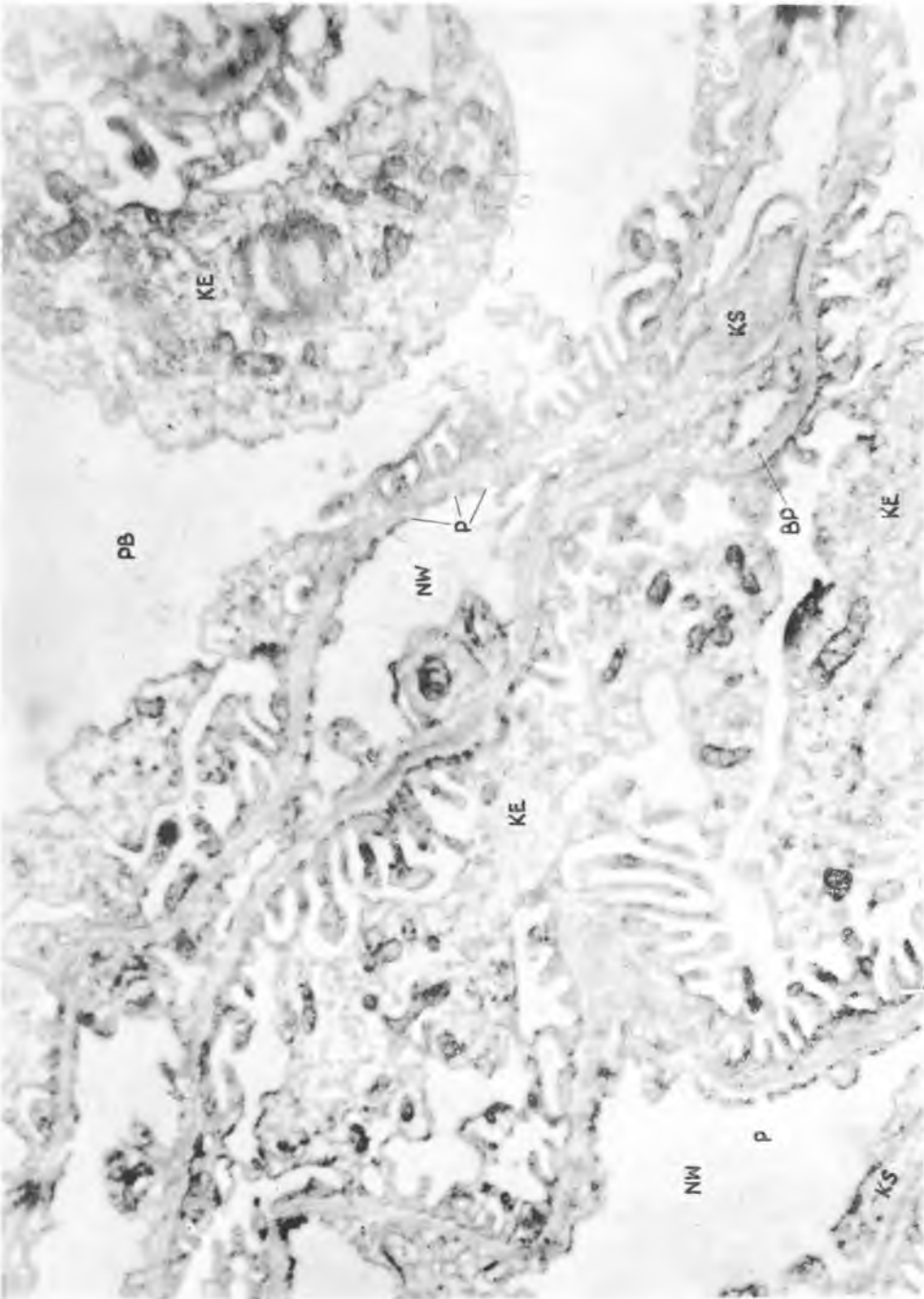
Ryc. 9

Stefan Dubas



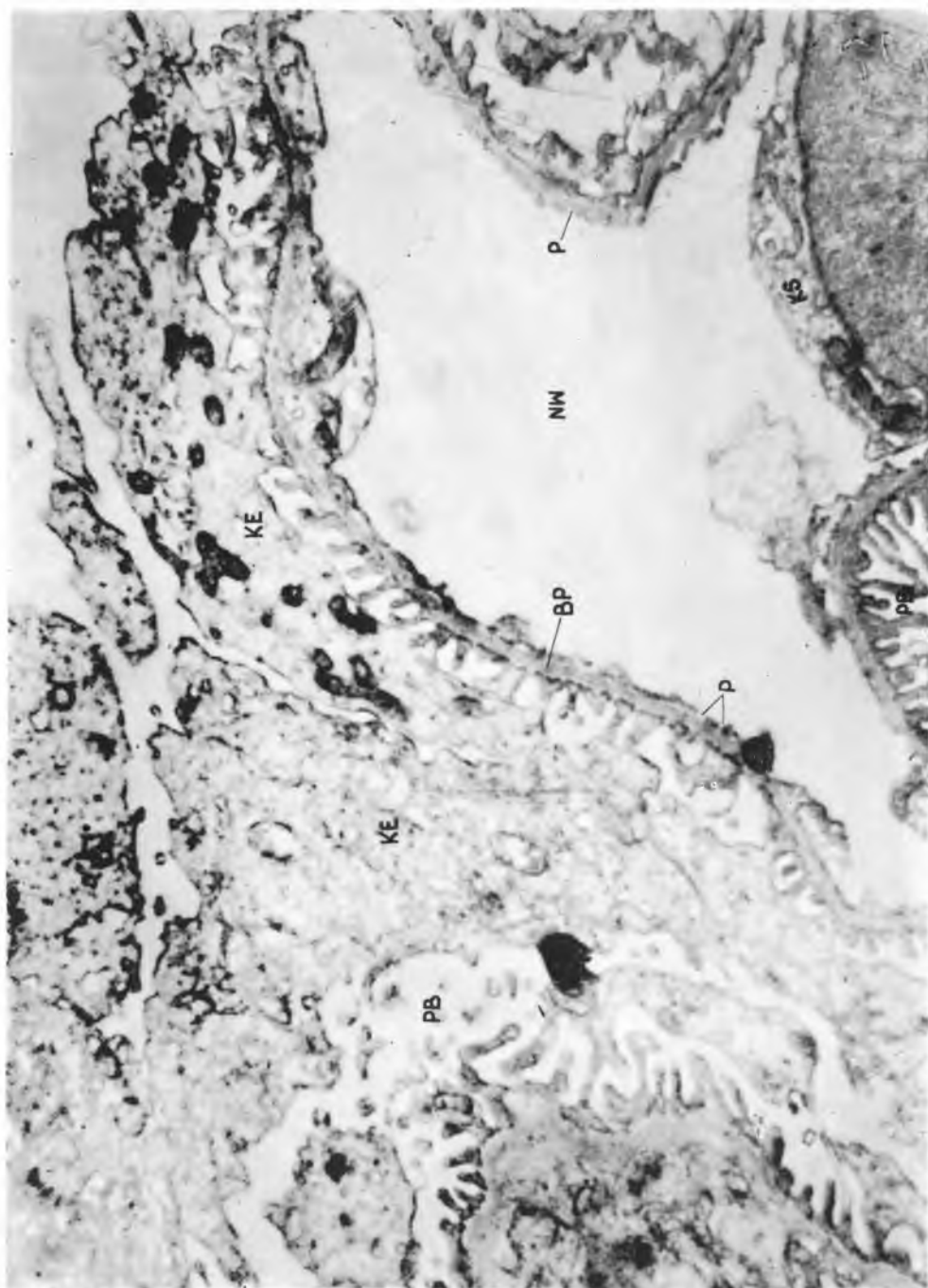
Ryc. 10

Stefan Dubas

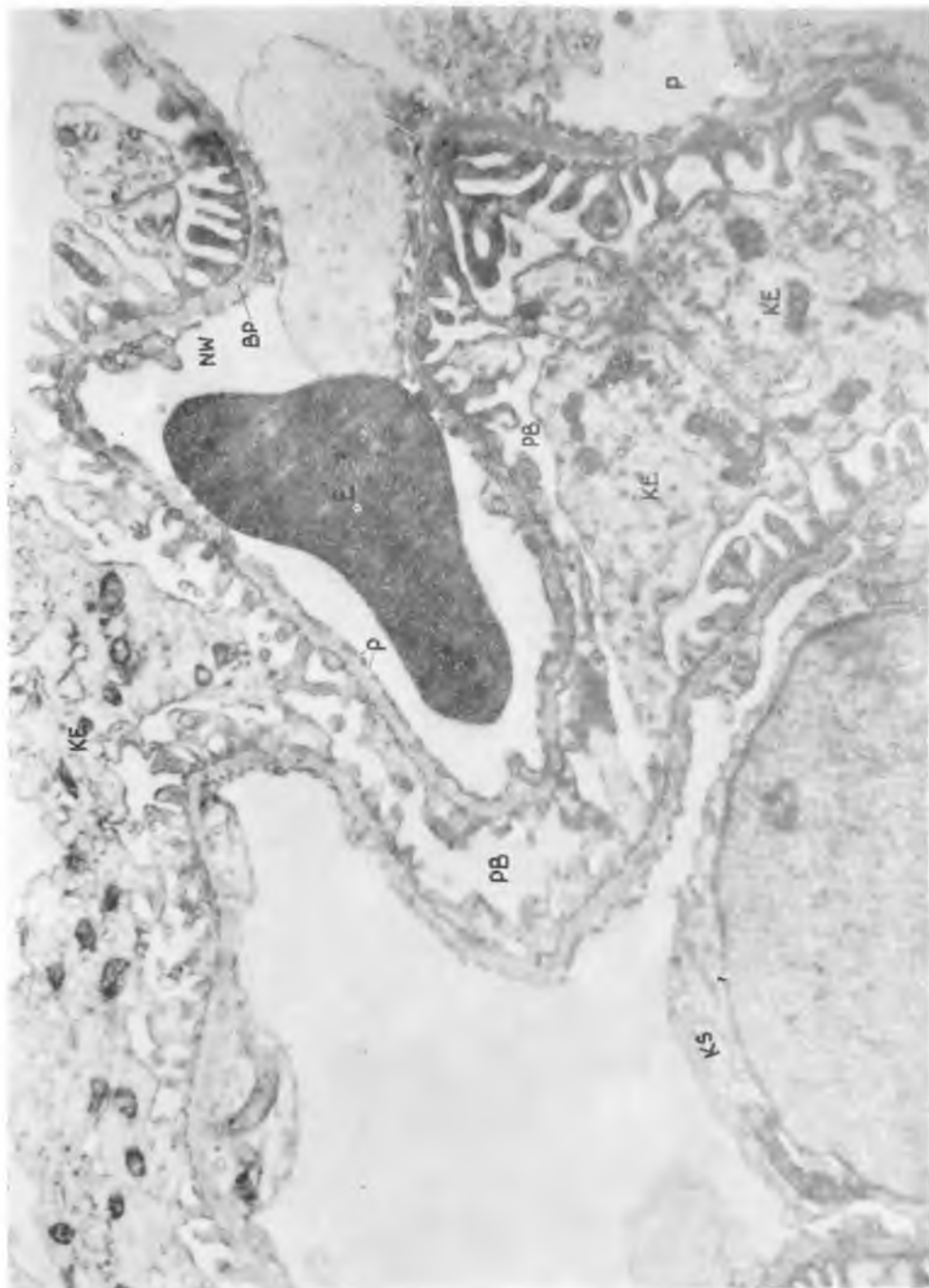


Ryc. 11

Stefan Dubas

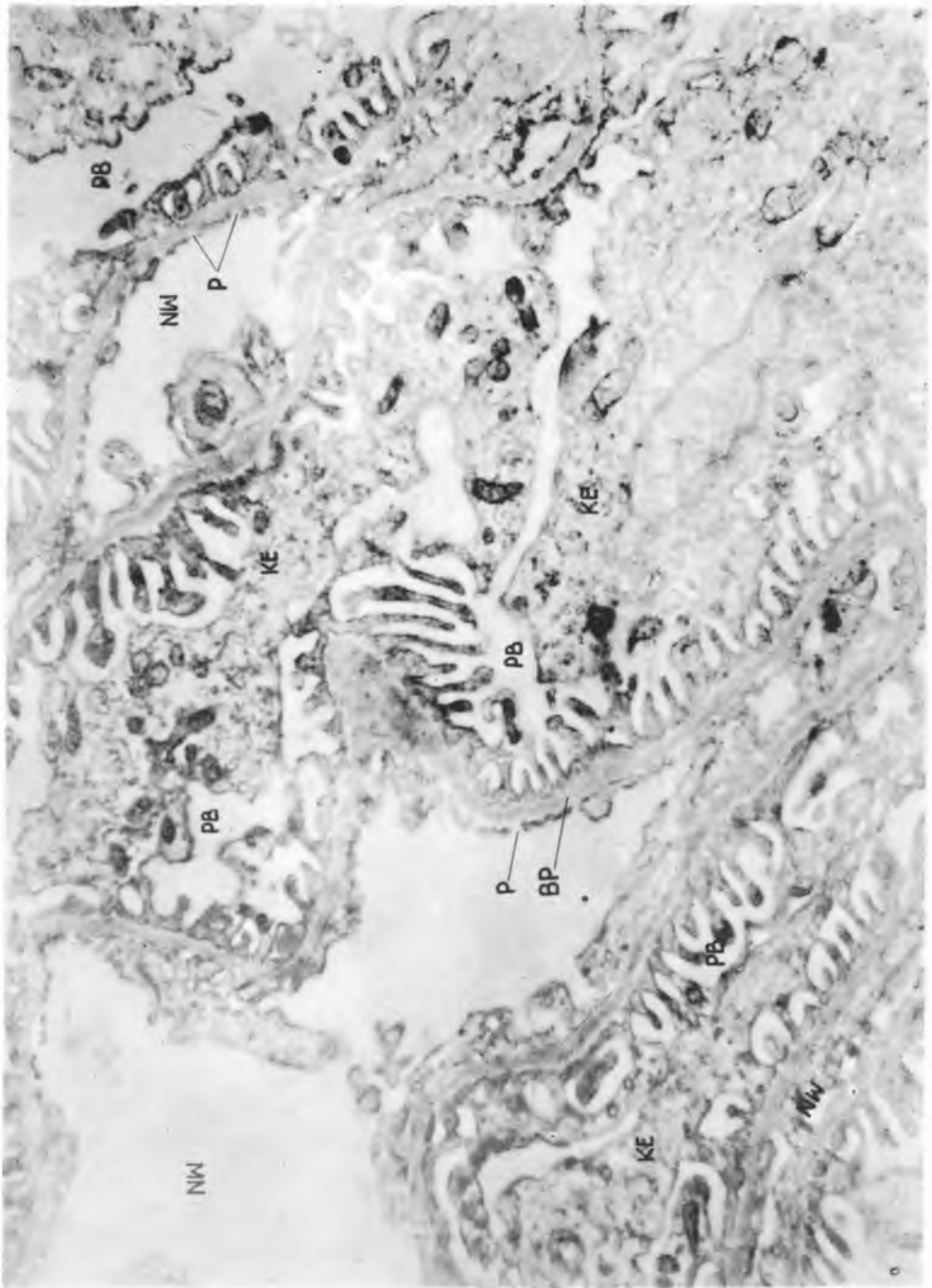


Ryc. 12



Ryc. 13

Stefan Dubas



Ryc. 14

Stefan Dubas