

Untersuchungen zur Struktur des Glomerulum

Rekonstruktion eines Rattenglomerulum an $0,5\ \mu$ dicken Serienschritten

B. Aeikens, A. Eenboom und A. Bohle*

Pathologisches Institut der Universität Tübingen (Direktor: Prof. Dr. A. Bohle)

Studies on Glomerular Structure: Reconstruction of a Rat Glomerulus Using $0.5\ \mu$ Serial Sections

Summary. Using serial sections of $0.5\ \mu$ thickness from the renal cortex of a perfused and fixed rat glomerulus 2 models (scale 1:1650) were constructed to study glomerular vessel distribution. In the first model the routes of the capillaries were reconstructed as wax plates and a model of the complete glomerulus was built up. On the basis of this model a second was constructed in which wire was used to demonstrate the capillary distribution.

Our findings were as follows:

1. The rat glomerulus consists of 5 lobularlike structures which receive their blood supply from one or two capillaries arising from the vas afferens.
2. After leaving the vas afferens the capillaries divide dichotomously. They may converge again and subsequently reunite to form a network that may take on a lobular appearance.
3. Multiple connections exist between the lobularlike structures. These anastomic connections pass through the centre of the glomerulus. It is mainly due to these connections that the lobular structure of the capillary convolution, as seen in the peripheral glomerular areas, does not continue to the hilar region. Because of this peculiarity the glomerular capillary convolutions have a lobularlike appearance. A direct connection between the vas afferens and the vas efferens could not be demonstrated.
4. Studies on the efferent drainage revealed that not every lobule and its own capillaries drained into the corresponding vas efferens, but that they occasionally drained into neighbouring vasa efferentia.
5. The volume of the glomerulus was $0.000706\ \text{mm}^3$, the surface area was $0.236464\ \text{mm}^2$, and the total length of the capillaries $8.705\ \text{mm}$.

Key words: Rat glomerulus – Reconstruction with semithin serial sections – Studies of the surface area and the total length of the capillaries.

* Mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft

Sonderdruckanforderungen an: Prof. Dr. A. Bohle, Pathologisches Institut der Universität, Liebermeisterstr. 8, D-7400 Tübingen, Federal Republic of Germany

Zusammenfassung. An 0,5 μ dicken Serienschnitten eines perfundiert fixierten Rattenglomerulum aus der mittleren Nierenrindenschicht wurden zur Rekonstruktion des Gefäßverlaufes zwei Modelle in einer Vergrößerung von 1 650-fach hergestellt. Bei dem ersten Modell wurden die Capillarverläufe als Wachsplatten nachgebildet und ein in mehreren Ebenen zerlegbares Wachsplattenmodell rekonstruiert. Auf der Grundlage dieses Modelles wurde ein zweites Modell, bei dem der Draht den Capillarverlauf darstellt, angefertigt.

Es konnten folgende Befunde erhoben werden:

1. Das Rattenglomerulum besteht aus fünf läppchenartigen Strukturen, die jeweils durch ein bis zwei vom Vas afferens entspringende Capillaren mit Blut versorgt werden.

2. Die vom Vas afferens ausgehenden Capillaren teilen sich zunächst dichotom. Sie können sich unter konvergentem Verlauf wieder vereinigen und bilden ein Netzwerk, das als läppchenartige Struktur erscheint.

3. Zwischen den läppchenartigen Strukturen existieren zahlreiche Anastomosen. Diese Anastomosen verlaufen durch das Zentrum des Glomerulum. Sie bedingen, daß der in der Peripherie der Glomerulumcapillaren erkennbare läppchenartige Aufbau des Capillarkonvolutes nicht bis zum Hilus des Glomerulum durchgehalten wird. Es wird deshalb der Aufbau des glomerulären Capillarkonvolutes als läppchenartig bezeichnet. Eine direkte Anastomose zwischen Vas afferens und Vas efferens ließ sich nicht nachweisen.

4. Untersuchungen zur efferenten Drainage der läppchenartigen Strukturen ergaben, daß nicht jede läppchenartige Struktur mit eigenen Capillaren in das Vas efferens mündet, sondern daß einzelne läppchenartige Strukturen über benachbarte efferent drainiert werden.

5. Das Volumen des Glomerulum beträgt 0,000706 mm³, die Oberfläche beträgt 0,236464 mm² und die Gesamtlänge aller Capillaren beträgt 8,705 mm.

Einleitung

Seit Marcello Malpighi 1666 das Glomerulum der menschlichen Niere entdeckte und in seinem Buch „De Viscerum Structura“ den Aufbau der Glomerulumcapillaren als „rete mirabile“ beschrieben hat, ist wiederholt versucht worden, die genaue Struktur des capillären Wundernetzes bei Mensch und Tier aufzuklären. Erst im Jahre 1842 beobachtete Bowman, daß vom Vas afferens nach Durchbruch der Kapsel zwei bis acht großkalibrige Capillaren abgehen, die sich selbst noch einmal teilen können, dabei Lobuli bilden und sich, ohne Anastomosen einzugehen, im Vas efferens vereinigen. Bowman entwickelte seine Vorstellungen vom Glomerulum so überzeugend, daß sie mehr als 100 Jahre gültig erschienen und von vielen Autoren (Ludwig, 1863; von Ebner, 1899; Vimtrup, 1928; von Möllendorff, 1930; Clara, 1936; Wilmer, 1941; Heggi, 1952) übernommen wurden.

In Histologiebüchern der 60er Jahre (Bargmann, 1964; Bucher, 1965) ist das Glomerulum im Prinzip noch im Sinne Bowmans dargestellt.

Dagegen wies Johnston schon 1899 als erster an einem Wachsplattenmodell aus 3 μ dicken Paraffin-Serienschnitten nach, daß zwischen den Glomerulumca-

pillaren reichlich Anastomosen bestehen. Diese Anastomosen wurden später auch von anderen Autoren beschrieben (Zimmermann, 1933; Hall, 1955; Boyer, 1956; Bohle und Herfarth, 1958; Bonhomme und Mitarbeiter, 1961). Vereinzelt wurde sogar über Kurzschlüsse zwischen Vas afferens und Vas efferens berichtet (Borst, 1930; MacCallum, 1939; Elias, 1960; Ljungqvist, 1964, 1975).

Neben den oben genannten Autoren haben Trabucco und Marquez (1952) sowie Elias u. Mitarb. (1956 und 1960) ungewöhnliche, einander widersprechende und mit den anderen bisher zitierten Autoren nicht übereinstimmende Ansichten zur Struktur des Glomerulum entwickelt. Trabucco u. Mitarb. glaubten, daß ihre mit Farbstoffen injizierten Glomerula aus einem System handschuhartiger Blindsäcke bestünden. Nach Elias (1956) bzw. Elias u. Mitarb. (1960) handelt es sich dagegen bei dem Glomerulum um eine dynamische Struktur, dessen „Lamina vasculosa“ aus einem speziellen Endothel, d.h. einer von ihm als Endenchym bezeichneten Struktur besteht, dessen Lage je nach der Durchblutung des Nierenkörperchens sich durch „oscillierende“ Verschiebungen verändern kann.

Während die Vorstellungen von Trabucco u. Mitarb. schnell vergessen wurden, ist den von Elias bzw. Elias u. Mitarb. entwickelten Thesen zur Struktur des Glomerulum große Beachtung geschenkt worden, zumal sie zeichnerisch hervorragend dokumentiert waren.

In neuester Zeit sind die bisher z.T. mittels Farbstoffinjektionen bzw. an Wachsplatten- oder Glasplattenmodellen gewonnenen Vorstellungen zur Struktur des Glomerulum von Mensch und Tier (Johnston, 1899; Borst, 1930; Boyer, 1956; Bohle und Herfarth, 1958 u.a.) durch rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen bestätigt und ergänzt worden (Arakawa, 1970; Murakami, 1971; Spinelli u. Mitarb. 1972; Spinelli, 1974). Mit dem Rasterelektronenmikroskop (Spinelli u. Mitarb., 1972) konnte u.a. gezeigt werden, daß die Vasa afferentia sich nach dem Eintritt in die Bowmansche Kapsel dichotom in mehrere Äste aufteilen, und daß diese Äste kein Netzwerk, wie 1956 von Boyer angenommen, sondern Lämpchen bilden, die bereits schon früher beschrieben wurden (Ludwig, 1863; Johnston, 1899; Zimmermann, 1933; Clara, 1936; Hall, 1955; Elias, 1956; Bonhomme, 1961). Nach Spinelli (1974) sollen dabei die Zuflüsse zum Vas efferens in den Zentren der Lämpchen entspringen.

Trotz der zahlreichen bisherigen, oft mit minutiöser Technik gewonnenen Untersuchungsergebnisse zur Struktur des Nierenkörperchens ist bis heute nicht geklärt, ob die Glomerula, wie u.a. von Elias (1956) beschrieben, aus echten Lämpchen als Funktionseinheiten bestehen, ob die Lämpchenstruktur nur in den peripheren Abschnitten des glomerulären Capillarconvolutes verwirklicht ist, oder ob sie, wie von Boyer (1956) angenommen, an Einzelschnitten nur vorgetäuscht wird.

In der vorliegenden Arbeit haben wir daher erneut den morphologischen Aufbau des Glomerulum der Ratte untersucht und anhand von $0,5\ \mu$ dicken Serienschnitten folgende Fragen zu beantworten versucht:

1. Die Frage nach dem Grad der Verwirklichung eines Lämpchenaufbaus des Glomerulum.
2. Die Frage nach Existenz und Verlauf von Anastomosen im glomerulären Capillarconvolut.

3. Die Fragen nach dem glomerulären Gesamtvolumen, der Gesamtoberfläche des glomerulären Capillarconvolutes sowie der gesamten Filtrationsfläche und der Gesamtlänge aller Glomerulumcapillaren.

Material und Methode

Eine 220 g schwere männliche Wistar ratte wurde in Nembutal-Narkose über die Aorta abdominalis bei konstantem Druck von 120 mm Hg mit 2%iger gepufferter Glutar-Aldehyd-Lösung perfusionsfixiert. Anschließend entnahmen wir Nierengewebe aus der mittleren Rindenschicht, fixierten dieses in 1%iger Osmiumlösung nach, entwässerten es und betteten es in Araldit ein. Mit Hilfe eines Ultramikrotoms (Om U 2 der Firma Reichert) stellten wir mit einem Diamantmesser 0,5 μ dicke Serienschritte her. Diese wurden nach Richardson (1960) gefärbt. Die Bestimmung der Schnittdicke erfolgte nach Jamin und Lebedeff, worüber an anderer Stelle berichtet worden ist (Christensen u. Mitarb., 1975). Aus einer lückenlosen Schnittserie wählten wir ein geeignetes Glomerulum aus, bei dem der Harn- und Gefäßpol horizontal zur Schnittrichtung lagen. Von diesem Glomerulum fertigten wir mit einem Fotomikroskop (Firma Zeiss) Fotografien in einer Gesamtvergrößerung von 1650-fach an. Jeweils 25 aufeinanderfolgende Fotos wurden zusammengefaßt und daraus ein Teilsegment eines aus insgesamt 10 Segmenten bestehenden Wachsmoделles angefertigt. Im einzelnen gingen wir dabei folgendermaßen vor (Aeikens u. Mitarb., 1977). Die erste Aufnahme, auf der die Serie des jeweiligen Segmentes aufgebaut wurde, legten wir mit der Rückseite auf einen Leuchtkasten und bedeckten sie mit einer 1 mm dicken transparenten Kunststoffschicht. Auf dieser Kunststoffplatte wurden aus 1,4 mm starken Dentalwachsplatten die einzelnen Capillarlumina ausgeschnitten und auf der Kunststoffplatte fixiert. Beim Aufbau der folgenden Wachsschichten des Segmentes legten wir die Fotografien mit der Vorderseite auf die Leuchtplatte. Die Rückseite dieser Aufnahmen bedeckten wir mit einer 1 mm dicken transparenten Kunststoffplatte, die (siehe unten) als „Transporthalter“ diente und mit einer dünnen Cellophanfolie bespannt wurde. Auf dieser Folie schnitten wir die Capillarlumina nach der Fotovorlage aus 1,4 mm starken Wachsplatten aus. Anschließend entfernten wir die Aufnahme und drehten die Kunststoffplatte mit der aufgespannten Cellophanfolie und den darauf fixierten Capillarlumina aus Wachs um 180 Grad und placierten diese auf die vorherige Schnittlage aus Wachs, so daß sich die Capillarverläufe einander exakt zuordnen ließen. Die überflüssig gewordene Kunststoffplatte, die als „Transporthalter“ gedient hatte, entfernten wir. Mit einer heißen Lötnadel wurden die Wachsplatten durch die Cellophanfolie hindurch auf die darunter gelegenen fixiert und die Folie vorsichtig abgezogen. Falls einige Capillaren in den Segmenten freischwebend im Raum begannen, fixierten wir diese dadurch, daß in angrenzenden Capillaren Stecknadeln eingeschmolzen wurden und die freien Nadelhälften zur Befestigung der beginnenden Capillaren dienten. Die endgültige Zuordnung der Glomerulumsegmente zu einem Gesamtmodell wurde auf Glasplatten (3 mm stark), die in einer Halterung untergebracht werden können, vorgenommen (Abb. 1). Durch diese Anordnung besteht die Möglichkeit, die einzelnen Segmente isoliert aus dem Gesamtverband zu entfernen, von allen Seiten zu betrachten, um damit auch Einblicke in das Innere des Glomerulum zu gewinnen.

Um eine bessere Transparenz des dichten und reich verzweigten Gefäßsystemes am Gesamtglomerulum-Modell zu erhalten, haben wir unter Zugrundelegung des Wachsplattenmodells ein zweites hierauf aufbauendes und ergänzendes Modell aus Draht hergestellt, bei dem die Capillarverläufe und ihre Verknüpfungen aus Draht nachgebildet wurden.

Wir begannen mit der Rekonstruktion des apikalen Poles. Dabei diente als Vorlage die Oberfläche des zweiten Segmentes, das mit einer Kunststoffplatte bedeckt wurde, auf der wir die Mittelpunkte der Capillarlumina übertrugen und anbohrten. Die einzelnen Capillaren des zugehörigen Segmentes wurden entsprechend ihrem auf dem Leuchtkasten am Wachsplattenmodell gut erkennbaren Verlaufs durch 1,5 mm starken Eisendraht nachgebildet. Die Drahtenden paßten wir in die vorgebohrten Löcher auf der Kunststoffplatte ein und fixierten diese mit einem Kleber. Anschließend wurden die Bohrlöcher auf der Gegenseite der Kunststoffplatte angebohrt bis zum Kontakt mit dem eingelassenen Draht. Diese Bohrlöcher dienten der Aufnahme der Drahtenden des zweiten Segmentes, das nach der gleichen Methode angefertigt wurde. Auf diese Weise stellten wir einen lückenlosen Kontakt zwischen zwei Segmenten her. Mit einer Fräse zerkleinerten wir die Kunststoff-

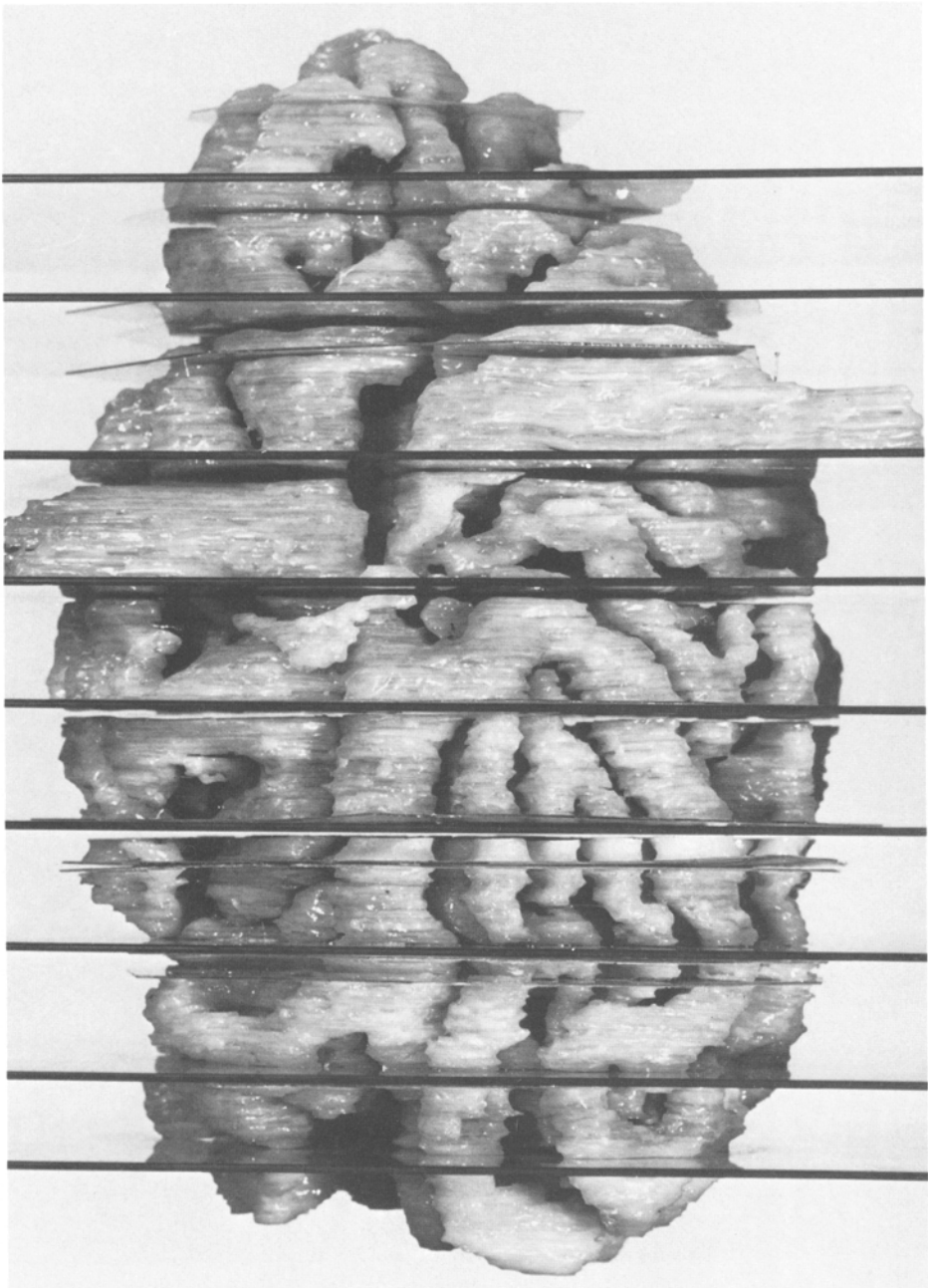


Abb. 1. Gesamtansicht des fertigen Wachsplattenmodells des Rattenglomerulum. Die einzelnen Segmente sind auf Glasplatten befestigt und einander zugeordnet. Im oberen vierten Segment befindet sich links das Vas afferens, im oberen dritten Segment rechts das Vas efferens

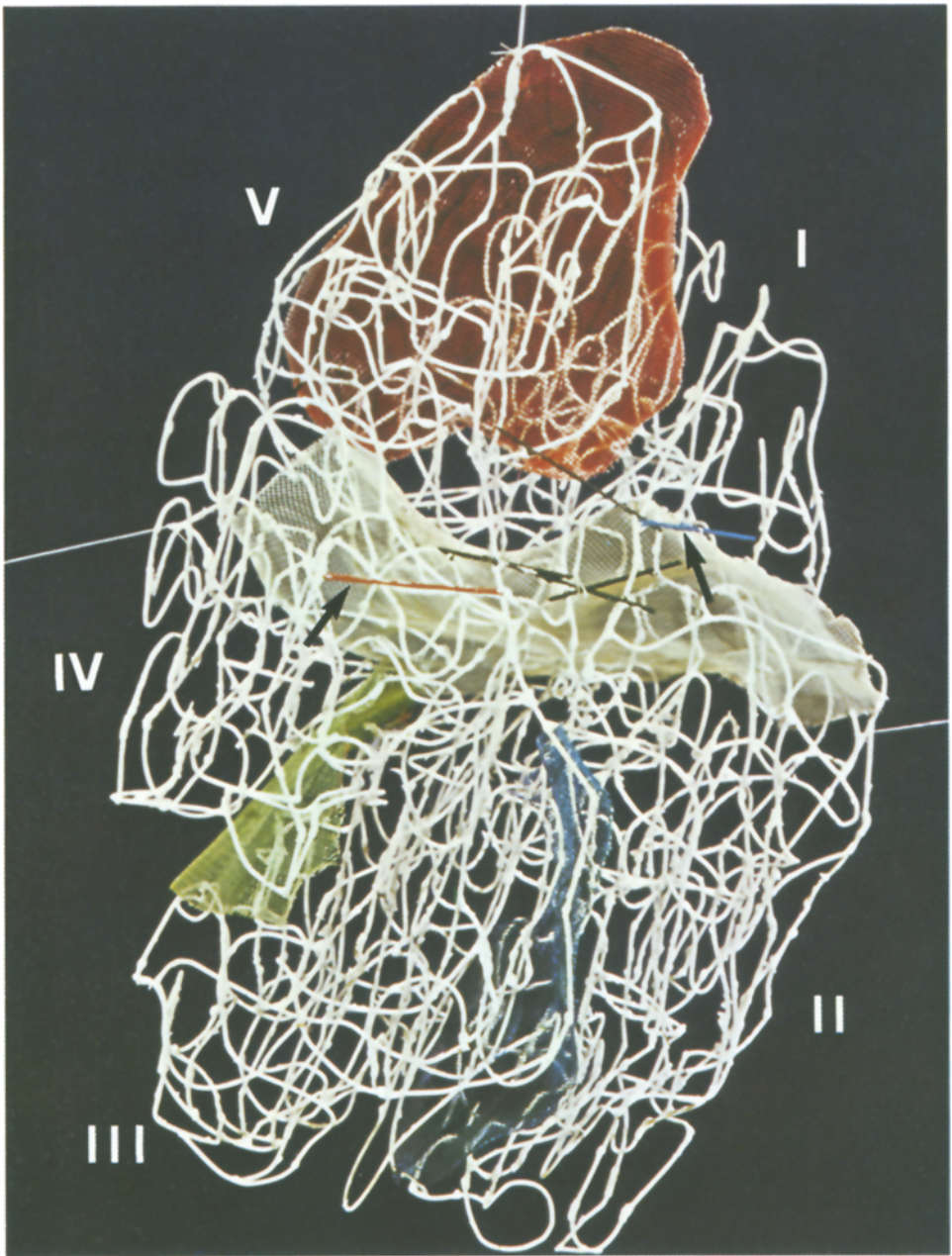


Abb. 2. Das zugehörige Drahtmodell des Rattenglomerulum. Der Eisendraht stellt die Achse der Capillaren dar. Zwischen den läppchenartigen Strukturen befinden sich Gazestreifen, in deren Bereich keine Anastomosen bestehen. Vas afferens: durch Pfeil markierter roter Capillarachsenanteil, Bildmitte links. Vas efferens: durch Pfeil markierter blauer Capillarachsenanteil, Bild rechts. Im Läppchenzentrum vorhandene schwarze Stäbe: zur Stabilisierung des Modells dienende Strebepfeiler

platten, entfernten sie und löteten die Drahtkontaktflächen beider Segmente miteinander. Mit dieser Methode gelang es uns, das gesamte Gefäßsystem des Glomerulum transparent und überschaubar darzustellen (Abb. 2).

Die Bestimmung des Glomerulumvolumens und der Oberfläche wurde an der der Rekonstruktion des Wachsplattenmodells zugrunde liegenden Fotoserie durchgeführt. Die Messungen erfolgten an einem A.S.M.-Leitz-Bildanalyse-Gerät. Auf einem Zeichenpult dieses Gerätes wurden mit einem speziellen Zeichenstift die Konturen der Glomerulumcapillaren umfahren und dabei der Umfang und die Fläche ermittelt. Durch Multiplikation der Gesamtfläche mit der Schnittdicke ($0,5 \mu$) errechneten wir daraus das Gesamtvolumen. Die Oberfläche wurde durch Multiplikation der Gesamtcapillarlumefänge mit der Schnittdicke des Präparates ermittelt. Es wurden jeweils die gesamten Capillarlumefänge errechnet, die Lage von Endothelzellen und Mesangiumzellen wurde dabei nicht berücksichtigt. Die Capillarlänge bestimmten wir aus dem mittleren Durchmesser horizontal angeschnittener und vermessener Capillaren und setzten zur weiteren Berechnung der Länge die Volumenformel für einen Zylinder ein. Dabei nehmen wir an, daß die aneinander gereihten Capillarabschnitte einen Zylinder ergeben.

Ergebnisse

An dem Wachsplattenmodell, dem eine Serie von 260 Einzelschnitten zugrunde lag, konnten folgende Ergebnisse gewonnen werden:

1. Die Aufteilung des Vas afferens in seine Verzweigungen erfolgt nach dem Prinzip der Dichotomie.
2. Das unter konstantem Druck perfundierte und fixierte glomeruläre Capillarconvolut besteht aus unterschiedlich weiten Capillaren.
3. In der Peripherie des Capillarconvolutes besteht ein läppchenartiger Aufbau. Dieser läßt sich jedoch nicht bis zum Zentrum des Glomerulum verfolgen.

Am Drahtmodell des Glomerulum fanden wir darüber hinaus:

4. Neben der dichotomen Aufteilung der Glomerulumcapillaren am Vas afferens wiederholt Wiedervereinigungen dichotom aufgeteilter Capillaren unter Bildung rhombischer Strukturen.

5. Einen läppchenförmigen Aufbau der Glomerulumcapillaren mit netzartiger Anordnung im Bereiche der läppchenartigen Strukturen sowie zahlreiche Anastomosen zwischen den läppchenartigen Strukturen im Zentrum des Glomerulum.

6. Bei der Bezeichnung der läppchenartigen Strukturen im Uhrzeigersinn, bei der die rechts oben gelegene läppchenartige Struktur (der Einfachheit halber Lämpchen genannt) die Ziffer I erhielt, ergab sich bezüglich der Anastomosen folgendes:

Zwischen den Lämpchen I und V existieren im Zentrum des Glomerulum zwei Anastomosen. Zwischen den Lämpchen I und II und zwischen den Lämpchen II und IV bestehen je eine Anastomose. Zwei Anastomosen befinden sich zwischen den Lämpchen II und III, während zwischen Lämpchen III und IV insgesamt vier Anastomosen nachgewiesen werden können. Das Lämpchen IV hat je eine Anastomose zu Lämpchen I und II.

7. Es existieren nicht nur die beschriebenen Anastomosen zwischen den Lämpchen im Zentrum des Glomerulum. Innerhalb der einzelnen Lämpchen finden sich ebenfalls zahlreiche Capillarverläufe, die in unterschiedlichen Abstän-

den vom Gefäßpol einen Übertritt des Blutes vom Vas afferens in den efferenten Abschnitt des Capillarconvolutes ermöglichen. Direkte Anastomosen zwischen Vas afferens und Vas efferens fanden wir dagegen nicht.

8. Alle Läppchen werden von einer, das Läppchen IV von zwei aus dem Vas afferens abgehenden Capillaren versorgt.

9. Nicht jedes Läppchen hat eine eigene Drainage zum Vas efferens hin. Die Läppchen III und IV werden über Läppchen II efferent drainiert. Läppchen I und V haben eine direkt ins Vas efferens mündende, meist aus mehreren Capillaren bestehende Drainage. Die zum Vas efferens führenden Capillaren entspringen in der Regel aus den Zentren der Läppchen.

10. *Volumenberechnung:*¹ Bei der Volumenberechnung wurde die Gesamtfläche aller Capillarlichtungen mit einem A.S.M.-Leitz-Bildanalyse-Gerät planimetriert. Bei Berücksichtigung des Vergrößerungsmaßstabes von 1650:1 beträgt die Fläche (F) 1,412200 mm². Durch Multiplikation der Fläche mit der Schnittdicke (h=0,0005 mm) beträgt das Volumen (V=F × h) 0,000706 mm³.

11. *Bestimmung der Oberfläche:* Der Gesamtumfang (U) aller Capillaren, der gleichzeitig mit dem A.S.M.-Leitz-Bildanalyse-Gerät ermittelt wurde, ergibt nach Berücksichtigung des Vergrößerungsfaktors von 1650:1 den Wert 472,927096 mm. Die Multiplikation des Gesamtumfanges mit der Schnittdicke (h=0,0005 mm) ergibt die Oberfläche (O=U × h) von 0,236464 mm².

12. *Bestimmung der Gesamtlänge aller Capillaren:* Die Gesamtlänge (l) wird aus der mittleren Fläche von 200 horizontal angeschnittenen Capillaren bei bekanntem Volumen (0,000706 mm³) durch Einsetzen in die Volumenformel für einen Zylinder errechnet. Die Capillarlänge beträgt 8,705 mm. Es handelt sich hierbei um Annäherungswerte. Der mittlere Durchmesser der 200 horizontal angeschnittener Capillaren beträgt 0,0102 mm (± 0,0037 mm).

Diskussion

Analysieren wir die Ergebnisse unserer Untersuchungen, so konnte gezeigt werden, daß das Glomerulum der Rattenniere aus fünf läppchenartigen Strukturen besteht. Echte Läppchen als voneinander unabhängige Funktionseinheiten wie von Bowman (1842), Ludwig (1863), Ebner (1899), Vimtrup (1928), v. Möllendorf (1930), Clara (1936), Wilmer (1941), Heggi (1952), Bargmann (1964) und von Elias (1956) zeichnerisch dargestellt, bestehen nicht. Der läppchenartige Aufbau scheint in der Peripherie des Capillarconvoluts bei durch Perfusionsfixation nicht kollabierten Capillaren vorhanden zu sein. Im Zentrum des Glomerulum läßt er sich nicht nachweisen. Hier sind die läppchenartigen Strukturen durch Anastomosen miteinander verbunden.

Außerdem konnten wir die Ergebnisse des älteren Schrifttums, inklusive der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen (Arakawa, 1970; Murakami, 1971; Spinelli u. Mitarb., 1972; Spinelli, 1974) bestätigen, daß die vom Vas afferens ausgehenden Gefäße sich dichotom aufteilen. Ergänzend zu diesen Befunden beobachteten wir Wiedervereinigungen dichotom aufgeteilter Capilla-

¹ Für die Durchsicht der mathematischen Ergebnisse danken wir Herrn Prof. Dr. K. Dietz, Institut für Medizinische Biometrie der Universität Tübingen

ren unter Ausbildung rhombischer Strukturen. Bezüglich der Frage nach dem Vorkommen von Anastomosen in den läppchenartigen Strukturen konnten wir die Beobachtungen von Johnston (1899), Zimmermann (1933), Hall (1955), Boyer (1956), Bohle und Herfarth (1958), Bonhomme u. Mitarb. (1961) bestätigen, d.h. wir fanden in unterschiedlichen Entfernungen von der Hilusregion zahlreiche Anastomosen innerhalb der läppchenartigen Strukturen, die so zahlreich vertreten sind, daß sie ein Netzwerk bilden. Direkte Kurzschlüsse zwischen Vas afferens und Vas efferens, wie kürzlich erst wieder von Ljungqvist (1975) in juxtamedullären Glomeruli postuliert, aber nicht bewiesen, fanden wir in Übereinstimmung mit Helmchen u. Mitarb. (1973) nicht.

Ergänzend zu diesen Befunden konnte von uns am Drahtmodell des Glomerulum, an dem die Capillarverläufe transparent dargestellt sind, gezeigt werden, daß im Zentrum des Glomerulum die läppchenartige Struktur durch Anastomosen miteinander verbunden sind, d.h. das Glomerulum im Gegensatz zu den viel beachteten Vorstellungen von Elias (1956) nicht aus mehreren Läppchen als unabhängigen Funktionseinheiten besteht.

Nicht jede läppchenartige Struktur besitzt ein eigenes Capillarsystem zum Vas efferens, einige Läppchen werden über ein benachbartes efferent drainiert. Im übrigen konnten von uns die rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen von Spinelli (1974) bestätigt werden, nach denen die in das Vas efferens mündenden Capillaren im Zentrum des Glomerulum entspringen.

Die mathematischen Beiträge zu Volumen, Oberfläche und Gesamtcapillarlänge des Glomerulum sind Erstwerte, die noch der Ergänzung bedürfen. Die bisherigen Ergebnisse der meisten Untersucher wurden durch indirekte Methoden ermittelt (Pütter, 1911; Vimtrup, 1928; Abrams u. Mitarb., 1963; Elias und Hennig, 1967; Pinto, 1974), während andere Untersucher (Book, 1936; Kirkman und Stowell, 1942) versuchten, direkte Messungen an Paraffinschnitten durchzuführen. Das von uns errechnete Volumen und die Oberfläche des Glomerulum ist im Prinzip übereinstimmend mit den Werten von Kirkman und Stowell. Diese Werte dienen Physiologen u.a. Brenner u. Mitarb. (1976) als Grundlage zur Berechnung von Filtrationsprozessen innerhalb des Glomerulumcapillarconvolutes.

Das Prinzip des Glomerulumcapillarconvolutes besteht in einer Oberflächenvergrößerung. Die Anordnung der Capillaren innerhalb des Glomerulum dient damit einer Vergrößerung der Filtrationsfläche, die für die Funktion des Organs unter pathologischen Bedingungen (Bohle u. Mitarb., 1977a-c, Mackensen u. Mitarb., 1977; Fischbach u. Mitarb., 1977; Grund u. Mitarb., 1978) nicht ohne Bedeutung sein dürfte.

Mit den vorgelegten Untersuchungen kam es uns zunächst nur darauf an, den Capillarverlauf des Glomerulum vollständig aufzuklären sowie die Volumen- und Oberflächenbestimmung durchzuführen und damit Voraussetzungen zu schaffen für weitere Berechnungen zur Physiologie und Pathophysiologie dieses Organs.

Unberücksichtigt sind bei unseren Berechnungen die Veränderungen des Gewebes während der histologischen Aufarbeitung. Es ist geplant, hierzu und zu Meßergebnissen an weiteren Glomerula gesondert Stellung zu nehmen.

Literatur

- Abrams, R.L., Lipkin, L.E., Hennigar, G.R.: A quantitative estimation of variation among human renal glomeruli. *Lab. Invest.* **12**, 69–76 (1963)
- Aeikens, B., Eenboom, A., Plate, W., Fronhold, L., Bohle, A.: Über die Herstellung von Modellen zur räumlichen Darstellung komplizierter Gefäßstrukturen, ausgeführt am Beispiel des Glomerulum der Säugerniere. *Microscopia Acta* **79**, 120–126 (1977)
- Arakawa, M., Tokunaga, J.: Further scanning electron microscope studies of the human glomerulus. *Lab. Invest.* **31**, 436–440 (1974)
- Bargmann, W.: *Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen*. Stuttgart: Georg Thieme 1964
- Bohle, A., Herfarth, Ch.: Zur Frage eines intercapillären Bindegewebes im Glomerulum der Niere des Menschen. *Virchows Arch. path. Anat.* **331**, 573–590 (1958)
- Bohle, A., Grund, K.E., Mackensen, S., Tolon, M.: Correlations between renal interstitium and level of serum creatinine. *Virchows Arch. A Path. Anat. and Histol.* **373**, 15–22 (1977)
- Bohle, A., Bader, R., Grund, K.E., Mackensen, S., Neunhoeffer, J.: Serum creatinine concentration and renal interstitial volume. *Virchow Arch. A Path. Anat. and Histol.* **375**, 87–96 (1977)
- Bohle, A., Glomb, D., Grund, K.E., Mackensen, S.: Correlations between relative interstitial volume of the renal cortex and serum creatinine concentration in minimal changes with nephrotic syndrome and in focal sclerosing glomerulonephritis. *Virchows Arch. A Path. Anat. and Histol.* **376**, 221–232 (1977)
- Bonhomme, Ch., Lagarde, R., Pourhadi, R.: Au sujet de la structure du glomérule vasculaire rénal étudié par injections de matières plastiques. *Path.-Biol.* **9**, 1291–1295 (1961)
- Book, M.H.: The secreting area of the glomerulus. *J. Anat.* **71**, 91–97 (1936)
- Borst, J.G.G.: Der Bau des normalen Glomerulus. *Z. mikr.-anat. Forsch.* **23**, 455–483 (1930)
- Bowman, W.: On the structure and use of the Malpighian bodies of the kidney, with observations on the circulation through that gland. *Phil. Trans. Roy. Soc. London* **132**, 57–80, Part I (1842)
- Boyer, C.C.: The vascular pattern of the renal glomerulus as revealed by plastic reconstruction from serial sections. *Anat. Record* **125**, 433–441 (1956)
- Brenner, B.M., Baylis, C.H., Deen, W.M.: Transport of molecules across renal glomerular capillaries. *Physiol. Rev.* **56**, 502–533 (1976)
- Bucher, O.: *Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen*. Bern, Stuttgart: Hans Huber 1965
- Christensen, J.A., Meyer, D.S., Bohle, A.: The structure of the human juxtaglomerular apparatus. *Virchows Arch. A Path. Anat. and Histol.* **367**, 83–92 (1975)
- Clara, M.: Vergleichende Histobiologie des Nierenglomerulus und der Lungenalveole. *Z. mikr.-anat. Forsch.* **40**, 147–280 (1936)
- Elias, H.: The renal glomerulus by light and electron microscopy. *Res. Serv. Med.* **46**, 1–28 (1956)
- Elias, H., Hossmann, A., Barth, I.R., Solmor, A.: Blood flow in the renal glomerulus. *J. Urol. (Baltimore)* **83**, 790–798 (1960)
- Elias, H., Hennig, A.: Sterology of the human renal glomerulus in: *Quantitative methods in morphology*. (Weibel, E.R. and H. Elias, eds.) pp. 130–166. New York: Springer 1967
- Fischbach, H., Mackensen, S., Grund, K.E., Kellner, A., Bohle, A.: Relationship between glomerular lesions, serum creatinine and interstitial volume in membranoproliferative glomerulonephritis. *Klin. Wschr.* **55**, 603–608 (1977)
- Grund, K.E., Grüner, J., Mackensen, S., Bader, H., Bohle, A.: Renal insufficiency in nephrosclerosis. *Klin. Wschr.* **56**, 1147–1154 (1978)
- Hall, V.: Further studies of the normal structure of the renal glomerulus. *Proc. Ann. Conf. 6-th, Nephrotic syndrome*, pp. 1–39. New York: National Nephrosis Foundation 1955
- Heggie, J.F.: Vascular architecture of the kidney. In: *Visceral circulation* (G.E.W. Wolstenholme, ed.), pp. 44–56. London: Churchill 1952
- Helmchen, U., Kneissler, U., Rückle, H.: *Seriendünnschnittuntersuchungen zur Frage eines juxta-medullären Vas afferens Vas efferens shunt*. Nieren- und Hochdruckkrankheiten Bd. II. S. IX. Basel: Karger 1973
- Johnston, W.B.: A reconstruction of a glomerulus of the human kidney. *Anat. Anz.* **16**, 260–266 (1899)
- Kirkman, H., Stowell, R.E.: Renal filtration surface in the albino rat. *Anat. Rec.* **82**, 373 (1942)

- Ljungqvist, A.: Structure of the arteriole-glomerular units in different zones of the kidney. *Nephron* **1**, 329–337 (1964)
- Ljungqvist, A.: Ultrastructural demonstration of a connection between afferent and efferent juxtamedullary glomerular arterioles. *Kidney Intern.* **8**, 239–244 (1975)
- Ludwig, C.: Einige neue Beziehungen zwischen dem Bau und der Function der Niere. *Sitzbeir. Akad. Wiss. Wien, Mathemat. Naturw. Kl. Abtl. IIa*, Band **48**, 725–733 (1863)
- Mackensen, S., Grund, K.E., Bader, R., Bohle, A.: The influence of glomerular and interstitial factors on the serum creatinine concentration in renal amyloidosis. *Virchows Arch. A Path. Anat. and Histol.* **375**, 159–168 (1977)
- MacCallum, D.B.: The bearing of degenerating glomeruli on the problem of the vascular supply of the mammalian kidney. *Am. J. Anat.* **65**, 69–103 (1939)
- Murakami, T., Miyoshi, M., Fujita, T.: Glomerular vessels of the rat kidney with special reference to double efferent arterioles. *Arch. histol. jap.* **33**, 179–198 (1971)
- Pinto, J.A., Brewer, D.B.: Glomerular morphometry, I Combined light and electron microscope studies in normal rats. *Lab. Invest.* **30**, 657–663 (1974)
- Pütter, A.: Aktive Oberfläche und Organfunktion. Eine physiologisch-anatomische Studie. *Z. allg. Physiol.* **12**, 125–214 (1911)
- Richardson, K., Jarett, L., Finke, E.H.: Embedding in epoxy resins for ultrathin sectioning in electron microscopy. *Stain Technol.* **35**, 313 (1960)
- Spinelli, F.R., Wirz, H., Brücher, Ch., Pehling, G.: Non-existence of shunts between afferent and efferent arterioles of juxtamedullary glomeruli in dog and rat kidneys. *Nephron* **9**, 123–128 (1972)
- Spinelli, F.R.: Structure and development of the renal glomerulus as revealed by scanning electron microscopy. *Internat. Review Cytol.* **39**, 345–381 (1974)
- Trabucco, A., Marquez, F.: Structure of the glomerular tuft. *J. Urol.* **67**, 235–255 (1952)
- Vimtrup, B.J.: On the number, shape, structure, and surface area of the glomeruli in the kidneys of man and mammals. *Am. J. Anat.* **41**, 123–151 (1928)
- Von Ebner, V.: Von den Harnorganen. *Köllikers Handbuch der Gewebelehre des Menschen*. 1899
- Von Möllendorff, W.: Der Exkretionsapparat in: *Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen* **7**, Springer-Verlag 1930
- Wilmer, H.A.: The arrangement of the capillary tuft of the human glomerulus. *Anat. Record* **80**, 507–518 (1941)
- Zimmermann, K.W.: Über den Bau des Glomerulus der Säugerniere. *Z. mikr. anat. Forsch.* **32**, 176–287 (1933)

Eingegangen am 27. September 1978