

AUS DER MEDIZINISCHEN UNIVERSITÄTSKLINIK LEIPZIG

Direktor: Professor Dr. med. – Dr. med. h. c. – Dr. med. h. c. – Dr. rer. nat. h. c.
M. Bürger

Physiologie und Pathologie
der Kapillarpermeabilität unter besonderer
Berücksichtigung des Diabetes mellitus

Von

Dr. Werner Ries

Assistent der Medizinischen Universitätsklinik Leipzig

Mit 35 Abbildungen und 52 Tabellen

1956

VEB Carl Marhold Verlag · Halle (Saale)

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| I. Einleitung und Fragestellung | 7 |
| II. Anatomie des Kapillarbereiches | 10 |
| III. Die Physiologie des Kapillarbereiches | 15 |
| 1. Innerer Kreislauf — Begriff der Kapillarpermeabilität | 15 |
| A) Der mechanische Kapillardruck | 17 |
| B) Der kolloidosmotische Druck des Blutes | 18 |
| C) Die Passierfähigkeit der Kapillarwand | 19 |
| D) Die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes | 20 |
| E) Gewebsfaktoren | 20 |
| F) Physiologische Bedeutung des Lymphgefäßsystems | 21 |
| G) Zusammenfassung | 21 |
| 2. Die Kapillarresistenz | 23 |
| IV. Die Methoden zur Überprüfung der Kapillarfunktion | 27 |
| 1. Die Funktionsproben der Kapillarpermeabilität | 27 |
| A) Blutmenge, Blutverdünnung und Bluteindickung | 28 |
| B) Hautblasen, Gewebssaftuntersuchungen | 28 |
| C) Die Quaddelresorptionszeit | 29 |
| D) Der NaCl-Quotient als Kriterium der serösen Entzündung | 29 |
| E) Vergleichende Analysen des arteriellen und venösen Blutes | 29 |
| F) Ausscheidungsuntersuchungen | 29 |
| G) Die Fluoreszein-Methode | 30 |
| H) Die Rhodan-Methode | 30 |
| I) Immunbiologische Methoden | 30 |
| K) Versuche mit Isotopen | 31 |
| L) Vergleichende Untersuchungen von Gewebe und Blut | 31 |
| M) Plethysmographische Methoden | 31 |
| 2. Die Methoden der Kapillarresistenzprüfung | 31 |
| A) Die Staumethoden | 31 |
| B) Die Saugmethoden | 32 |
| C) Die Druckmethoden | 32 |
| D) Tierexperimentelle Methoden | 32 |
| V. Die Altersabhängigkeit der Kapillarpermeabilität | 33 |
| 1. Biorheutische Morphologie des Kapillargebietes | 33 |
| 2. Die Altersabwandlungen der Kapillarfunktionen | 38 |
| A) Das kapillaroskopische Bild | 38 |
| B) Der Kapillardruck | 38 |

| | | |
|-------|---|-----|
| C) | Der kolloidosmotische Druck | 38 |
| D) | Die Strömungsgeschwindigkeit | 38 |
| E) | Die Kapillarresistenz | 39 |
| F) | Die Reaktionsfähigkeit der Kapillaren | 39 |
| 3. | Die Altersabhängigkeit der Kapillarpermeabilität | 40 |
| A) | Allgemeines | 40 |
| B) | Das Landisverfahren in der Altersabhängigkeit | 43 |
| C) | Die Altersabhängigkeit des Cantharidenblasenverfahrens | 69 |
| D) | Der osmotische Belastungsversuch in der Altersabhängigkeit | 75 |
| VI. | Klinik der Kapillarstörungen | 80 |
| 1. | Die Theorie von der Permeabilitätspathologie | 80 |
| A) | Die Albuminurie in das Gewebe | 81 |
| B) | Ödempathogenese | 82 |
| C) | Klinik der Kapillarpathologie | 84 |
| VII. | Die Kapillarpermeabilität beim Diabetes mellitus | 91 |
| 1. | Einführung | 91 |
| 2. | Der diabetische Kapillarschaden | 94 |
| A) | Allgemeines | 94 |
| B) | Das kapillarmikroskopische Bild des Diabetes mellitus | 95 |
| C) | Der kolloidosmotische Druck beim Diabetes mellitus | 97 |
| D) | Kapillarresistenz beim Diabetes mellitus | 97 |
| E) | Die diabetische Nephropathie | 99 |
| F) | Die Retinopathia diabetica | 101 |
| 3. | Die Kapillarpermeabilität beim Diabetes mellitus | 102 |
| A) | Einführung | 102 |
| B) | Das Landis-Verfahren beim Diabetes mellitus | 105 |
| C) | Diabetes und Cantharidenblasenverfahren | 126 |
| D) | Der osmotische Belastungsversuch beim Diabetes mellitus | 130 |
| E) | Kapillarpermeabilität und Blutzuckerhöhe beim Diabetes mellitus | 136 |
| F) | Kapillarpermeabilität und Blutdruckhöhe beim Diabetes mellitus | 137 |
| G) | Kapillarpermeabilität und Diabetesdauer | 137 |
| VIII. | Therapeutische Probleme der gestörten Kapillarpermeabilität | 141 |
| 1. | Die modernen Therapieformen der Kapillarschäden | 141 |
| 2. | Die Osmotherapie | 144 |
| 3. | Insulin und Kapillarpermeabilität | 144 |
| IX. | Zusammenfassung | 153 |
| X. | Literaturverzeichnis | 160 |

Ries / Physiologie und Pathologie der Kapillarpermeabilität
unter besonderer Berücksichtigung des Diabetes mellitus

SAMMLUNG ZWANGLOSER ABHANDLUNGEN
AUS DEM GEBIETE DER VERDAUUNGS-
UND STOFFWECHSELKRANKHEITEN

HERAUSGEBER:

Prof. Dr. med. - Dr. med. h. c. - Dr. med. h. c. - Dr. rer. nat. h. c.

M. Bürger, Leipzig
NATIONALPREISTRÄGER

Neue Folge, Heft 4

AUS DER MEDIZINISCHEN UNIVERSITÄTSKLINIK LEIPZIG
Direktor: Professor Dr. med. – Dr. med. h. c. – Dr. med. h. c. – Dr. rer. nat. h. c.
M. Bürger

Physiologie und Pathologie
der Kapillarpermeabilität unter besonderer
Berücksichtigung des Diabetes mellitus

Von
Dr. Werner Ries
Assistent der Medizinischen Universitätsklinik Leipzig

Mit 35 Abbildungen und 52 Tabellen

1956

VEB Carl Marhold Verlag · Halle (Saale)

Meinem hochverehrten Lehrer,

Herrn Prof. Dr. med. – Dr. med. h. c. – Dr. med. h. c. – Dr. rer. nat. h. c.

M. Bürger

in Dankbarkeit gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| I. Einleitung und Fragestellung | 7 |
| II. Anatomie des Kapillarbereiches | 10 |
| III. Die Physiologie des Kapillarbereiches | 15 |
| 1. Innerer Kreislauf — Begriff der Kapillarpermeabilität | 15 |
| A) Der mechanische Kapillardruck | 17 |
| B) Der kolloidosmotische Druck des Blutes | 18 |
| C) Die Passierfähigkeit der Kapillarwand | 19 |
| D) Die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes | 20 |
| E) Gewebsfaktoren | 20 |
| F) Physiologische Bedeutung des Lymphgefäßsystems | 21 |
| G) Zusammenfassung | 21 |
| 2. Die Kapillarresistenz | 23 |
| IV. Die Methoden zur Überprüfung der Kapillarfunktion | 27 |
| 1. Die Funktionsproben der Kapillarpermeabilität | 27 |
| A) Blutmenge, Blutverdünnung und Bluteindickung | 28 |
| B) Hautblasen, Gewebssaftuntersuchungen | 28 |
| C) Die Quaddelresorptionszeit | 29 |
| D) Der NaCl-Quotient als Kriterium der serösen Entzündung | 29 |
| E) Vergleichende Analysen des arteriellen und venösen Blutes | 29 |
| F) Ausscheidungsuntersuchungen | 29 |
| G) Die Fluoreszein-Methode | 30 |
| H) Die Rhodan-Methode | 30 |
| I) Immunbiologische Methoden | 30 |
| K) Versuche mit Isotopen | 31 |
| L) Vergleichende Untersuchungen von Gewebe und Blut | 31 |
| M) Plethysmographische Methoden | 31 |
| 2. Die Methoden der Kapillarresistenzprüfung | 31 |
| A) Die Staumethoden | 31 |
| B) Die Saugmethoden | 32 |
| C) Die Druckmethoden | 32 |
| D) Tierexperimentelle Methoden | 32 |
| V. Die Altersabhängigkeit der Kapillarpermeabilität | 33 |
| 1. Biorheutische Morphologie des Kapillargebietes | 33 |
| 2. Die Altersabwandlungen der Kapillarfunktionen | 38 |
| A) Das kapillaroskopische Bild | 38 |
| B) Der Kapillardruck | 38 |

| | | |
|-------|---|-----|
| C) | Der kolloidosmotische Druck | 38 |
| D) | Die Strömungsgeschwindigkeit | 38 |
| E) | Die Kapillarresistenz | 39 |
| F) | Die Reaktionsfähigkeit der Kapillaren | 39 |
| 3. | Die Altersabhängigkeit der Kapillarpermeabilität | 40 |
| A) | Allgemeines | 40 |
| B) | Das Landisverfahren in der Altersabhängigkeit | 43 |
| C) | Die Altersabhängigkeit des Cantharidenblasenverfahrens | 69 |
| D) | Der osmotische Belastungsversuch in der Altersabhängigkeit | 75 |
| VI. | Klinik der Kapillarstörungen | 80 |
| 1. | Die Theorie von der Permeabilitätspathologie | 80 |
| A) | Die Albuminurie in das Gewebe | 81 |
| B) | Ödempathogenese | 82 |
| C) | Klinik der Kapillarpathologie | 84 |
| VII. | Die Kapillarpermeabilität beim Diabetes mellitus | 91 |
| 1. | Einführung | 91 |
| 2. | Der diabetische Kapillarschaden | 94 |
| A) | Allgemeines | 94 |
| B) | Das kapillarmikroskopische Bild des Diabetes mellitus | 95 |
| C) | Der kolloidosmotische Druck beim Diabetes mellitus | 97 |
| D) | Kapillarresistenz beim Diabetes mellitus | 97 |
| E) | Die diabetische Nephropathie | 99 |
| F) | Die Retinopathia diabetica | 101 |
| 3. | Die Kapillarpermeabilität beim Diabetes mellitus | 102 |
| A) | Einführung | 102 |
| B) | Das Landis-Verfahren beim Diabetes mellitus | 105 |
| C) | Diabetes und Cantharidenblasenverfahren | 126 |
| D) | Der osmotische Belastungsversuch beim Diabetes mellitus | 130 |
| E) | Kapillarpermeabilität und Blutzuckerhöhe beim Diabetes mellitus | 136 |
| F) | Kapillarpermeabilität und Blutdruckhöhe beim Diabetes mellitus | 137 |
| G) | Kapillarpermeabilität und Diabetesdauer | 137 |
| VIII. | Therapeutische Probleme der gestörten Kapillarpermeabilität | 141 |
| 1. | Die modernen Therapieformen der Kapillarschäden | 141 |
| 2. | Die Osmotherapie | 144 |
| 3. | Insulin und Kapillarpermeabilität | 144 |
| IX. | Zusammenfassung | 153 |
| X. | Literaturverzeichnis | 160 |

I. Einleitung und Fragestellung

Die Entdeckung der Kapillaren reicht einige Jahrhunderte zurück. Noch 1628 stellte Harvey fest, daß er bei aller Sorgfalt das Bindeglied zwischen den Arterien und Venen nicht finden könne. — Einige Jahrzehnte später entdeckte dann Malpighi 1661 die Verbindung von Arterien und Venen, die Kapillaren. Aber erst im 20. Jahrhundert setzte mit der entscheidenden Verbesserung der methodischen Möglichkeiten eine breite, zunächst deskriptive Kapillarforschung ein. Die Anatomie trug in mühevoller Kleinarbeit die Bausteine unseres heutigen Wissens von Form und Gestalt der feinsten Blutgefäße zusammen. Otfried Müller kommt das Verdienst zu, die Kapillarmikroskopie in die Klinik eingeführt und mit seinen Schülern grundlegende Erkenntnisse von der Kapillartätigkeit erarbeitet zu haben. Von physiologischer Seite (Ebbecke; Lewis) wurde dann der Grundstein zu unseren heutigen Vorstellungen von den funktionellen Vorgängen im peripheren Territorium gelegt. Krogh erkannte die Bedeutung des kolloidosmotischen Druckes für den Stoffaustausch und sein Schüler Landis widmete sich besonders der Frage der Kapillardruckbestimmung. Im Rahmen seiner zahlreichen Arbeiten gelang ihm schließlich die Entwicklung der heute so weit verbreiteten und anerkannten Staumethode zur Überprüfung der Kapillarpermeabilität, die aus der Kapillarforschung nicht mehr wegzudenken ist. Eppinger blieb es vorbehalten, die Bedeutung einer gestörten Kapillarfunktion im Sinne einer gesteigerten Durchlässigkeit für den Ablauf bestimmter Erkrankungen zu erkennen, nachdem Virchow bereits ähnliche Vermutungen ausgesprochen hatte. Ausgehend von der Starling'schen Hypothese der Eiweißfreiheit extrazellulärer Flüssigkeiten beschrieb Eppinger die von ihm sogenannte „Albuminurie in's Gewebe“ als pathophysiologischen Ausdruck der „serösen Entzündung“ Rössles. Damit war die Konzeption der Permeabilitätspathologie — von Eppinger auch Lehre vom Krankheitsbeginn genannt — in ihrer heutigen Gestalt geschaffen. Eine wahre Flut von Bearbeitungen permeabilitätspathologischer Zustände setzte damit ein, die sich heute auf nahezu alle Teilgebiete der Medizin erstreckt. Die therapeutischen Konsequenzen aus diesen Untersuchungen konnten mit der Entwicklung gefäßaktiver Substanzen und Erkennung ihrer

Wirkungsmechanismen gezogen werden und haben ihrerseits wieder die experimentelle Permeabilitätsforschung erheblich befruchtet.

Die Fülle der zahlreichen Methoden zur Überprüfung der Kapillarfunktionsstörungen und insbesondere der Kapillarpermeabilität mit ordnender Hand kritisch gesichtet zu haben, ist das Verdienst KÜCHMEISTERS, der selbst wesentliche Beiträge zur experimentellen Kapillarforschung und ihren Beziehungen zur Klinik liefern konnte.

Die vorliegende Arbeit hat sich zum Ziel gesetzt, die Veränderungen der Kapillarpermeabilität beim Diabetes mellitus zu untersuchen. Die Beantwortung dieser Frage konnte nur nach eingehenden Untersuchungen über die physiologischen Verhältnisse der Kapillarwanddurchlässigkeit und ihre Altersabhängigkeit erfolgen.

Das Altern gehört nach BÜRGER zu den Urphänomenen des Lebens. Es bedeutet jede irreversible Veränderung der lebenden Substanz als Funktion der Zeit und stellt einen während des ganzen Lebens dauernden Prozeß dar. Diese Interpretation des Altersbegriffes unterscheidet sich erheblich vom „Alter“ im Sinne des alltäglichen Sprachgebrauches, nach welchem es das Auftreten greisenhafter Züge bedeutet. Leider kennt die deutsche Sprache nicht genügend Worte um die beiden Begriffe zu unterscheiden. Der Altersvorgang an der lebenden Substanz wird von BÜRGER im Sinne EHRENBERGS als Biorheuse bezeichnet. Die von ihm und seinen Mitarbeitern geschaffene biorheutische Nosologie legt von den Altersvorgängen des menschlichen Organismus Zeugnis ab. Sie führt zur Erkenntnis, daß alle physiologischen Vorgänge in ihrem Ablauf altersabhängig sind. Die Beweise hierfür konnten in zahllosen Untersuchungen erbracht werden. Eine biorheutisch betrachtete Permeabilitätspathologie gibt es bis heute nicht. Von pathologisch-anatomischer Seite fehlt es auch dazu vorläufig an entsprechenden Grundlagen, da nicht sichergestellt ist, ob es an den feinsten Gefäßabschnitten, ähnlich wie an den großen Gefäßen, zu altersabhängigen Veränderungen kommt.

Umfassende Untersuchungen über die Altersabhängigkeit verschiedener Kapillarfunktionen wurden in neuester Zeit von H. KNOBLOCH durchgeführt. Danach hat sich ergeben, daß die Kapillaren im höheren Alter auf mechanische, chemische, pharmakologische und aktinische Reize träger und weniger intensiv reagieren als in der Jugend.

BÜRGER führte auf Grund eingehender angiochemischer Untersuchungen (HEVELKE) den Nachweis, daß es eine spezifische diabetische Gefäß-erkrankung — *Angiopathia diabetica* — gibt. Auch hier ist die Frage einer Beteiligung des Kapillarsystems von histologischer Seite her

noch nicht gelöst. Die Kapillarmikroskopie kennt seit Jahren für den Diabetiker typische Bilder, die eine Beteiligung des feinsten Gefäßabschnittes im hohen Maße wahrscheinlich machen (Hennig; Jürgensen; Weiß) u. a. Untersuchungen über eine besondere Permeabilitätspathologie des Diabetes mellitus sind bereits vorhanden (Wendt). Die Frage, ob eine Störung im Sinne einer Steigerung oder einer Hemmung des Durchtritts besteht, konnte bisher nicht eindeutig beantwortet werden, zumal in den meisten Arbeiten der Einfluß des Insulins völlig außer Acht gelassen wurde. Eppinger selbst ließ das Problem offen.

Mit Hilfe anerkannter Verfahren haben wir versucht, einen Beitrag zu dieser interessanten Frage zu liefern. Bei der Durchführung der erforderlichen Blutuntersuchungen stützten wir uns in erster Linie auf die chemische Eiweißbestimmung nach Kjeldahl. Rund 5000 Bestimmungen kennzeichnen den Umfang der Laborarbeiten. Die große Literatur der Kapillarforschung, die in den einschlägigen Standardwerken (O. Müller; Eppinger) ausführlich besprochen wurde, ist nur soweit zum Verständnis erforderlich angeführt worden. Die Verknüpfung biochemischer und diabetischer Untersuchungen führt zu folgender zusammengefaßter Problemstellung: Gibt es eine altersabhängige Kapillarpermeabilitätsänderung und welche Beziehungen bestehen zur diabetischen Gefäßkrankheit in bezug auf die Grenzflächenfunktionen?

II. Anatomie des Kapillarbereiches

Die Endstrombahn hat die Aufgabe, den physiologischen Stoffaustausch zwischen Blutbahn und Gewebe zu vollziehen. Sie stellt ein räumliches Netzwerk aus feinen Haargefäßen, den Kapillaren, dar. Diese Kapillaren sind rohrartig angeordnete Gebilde, deren histologischer Aufbau die besten Voraussetzungen für einen geordneten und gegenseitigen Stoffaustausch bietet. — Eine scharfe Trennung zwischen kleinsten Arterien, Kapillaren und kleinsten Venen kann nach Spalteholz nicht gemacht werden. Er spricht von kapillaren Arterien und kapillaren Venen. Ein von Ratschow zitiertes Schema nach Lewis bringt folgende Unterteilung der peripheren Gefäßabschnitte:

| | | |
|--|---|----------------------------|
| Gerade Hautarterien = Praearteriolen | } | starke kräftige Arteriolen |
| Arteriellcs Netzwerk der Haut = Arteriolen | | |
| Verbindungsarteriolen = A. V. Anastomosen | | |

Zweige der letzteren:

| | | |
|--------------------------------------|---|------------------------------|
| Arteriellcs, subpapilläres Netzwerk: | } | kleinste Gefäße |
| Enderteriolen = Metarteriolen | | |
| Kapillaren = Strom-Kapillaren | | |
| Sammelvenen | | |
| 1. venöser Plexus | } | venöser subpapillärer Plexus |
| 2. venöser Plexus | | |

Verbindungsvenen:

| | | |
|--------------------------------------|---|-------------|
| Dritter venöser Plexus = Venolen | } | tiefe Venen |
| Verbindungsvenen = A. V. Anastomosen | | |
| Gerade Hauptvenen = Postvenolen | | |

Die Kapillaren sind überall in die Gewebe eingebettet. Ihre Anzahl ist jedoch in den einzelnen Körperregionen verschieden. M. Bürger wies schon 1920 darauf hin, daß die Kapillaren in den verschiedenen Organen anatomisch und funktionell differieren. — Eine Tabelle von Nesterow, die sich mehr auf Schätzungen bezieht, sagt über die Anzahl der Kapillaren im Hautbereich

folgendes aus: Es finden sich pro Quadratmillimeter Haut innerhalb der verschiedenen Regionen folgende Werte:

| | |
|-----------------------|------|
| Lippen | 46 |
| Hand und Unterarm | 44 |
| Fuß und Unterschenkel | 41,3 |
| Schulter | 27 |
| Stirn | 25 |
| Brust und Wangen | 19 |

Wright und Duryee stellten grundsätzlich fest, daß das anatomische und funktionelle Verhalten der menschlichen Kapillaren zwar gewisse örtliche und altersbedingte Besonderheiten mit einiger Regelmäßigkeit erkennen läßt, daß es aber z. Zt. noch besonderer Kritik bedarf, wenn aus geringfügigen Unterschieden im morphologischen Bild irgendeine Schlußfolgerungen gezogen werden. Alexander, Harter und Connell führten Untersuchungen über die Quaddelgröße von Histamin und Allergenquaddeln an den verschiedenen Körperregionen durch und fanden regionär unter sonst gleichen Bedingungen erhebliche Differenzen, die Rückschlüsse auf die Unterschiede der Kapillarfunktionstüchtigkeit erlauben.

Nach Klingmüller ist die Haut relativ arm an Kapillaren.

Sehr engmaschige Kapillarnetze finden sich in einer Reihe von inneren Organen wie z. B. Lunge, Schilddrüse, Leber, Nebenniere, den Nieren und dem Fettgewebe. In einer Betrachtung über die Fettsucht und die ursächliche Bedeutung des Fettgewebes für ihre Auslösung widmete sich Eger der Frage der Kapillarversorgung im Fettgewebe. Die Menge der Blutkapillaren sei erstaunlich groß und schon im histologischen Schnitt könne man erkennen, daß alle zwischen den Fettzellen liegenden Kerne zu den Kapillaren gehören (Pfuhl).

Das gesamte Kapillarbett beträgt nach Krogh 6000 mm², der Querschnitt des gesamten kapillären Netzes soll sich nach Tigerstedt auf das 400fache, nach Landois-Rosemann und Ebbecke sogar auf das 1000fache der Aorta belaufen. Die durchschnittliche Länge der Kapillaren beträgt 0,5 bis 1 mm, der Durchmesser wird etwa mit 8—10 μ angegeben. Aber auch hier sind innerhalb der verschiedenen Organe erhebliche Schwankungen zu finden. An den Choriokapillaren des Auges wurden Werte von 9—15 μ gemessen, an anderen Regionen, wie Nerven und Muskeln nur 4,5—6,7 μ als Durchmesser beobachtet (Benninghoff). Mit 7,5 μ erreichen die Kapillaren nach Stöhr jun. den Durchmesser eines Erythrozyten.

Der bedeutendste Teil der Kapillaren ist die Membran. Wie bei den großen Gefäßen besteht auch die Wandung der Haargefäße aus 3 Schichten. Diese Membran dürfen wir uns nicht als unveränderliches Gebilde vorstellen, sondern es ist sicher, daß sie dauernden Veränderungen ihrer Struktur unterworfen ist. Wir unterscheiden im Kapillarbereich die Endothelschicht, die eigentliche Kapillarmembran und die äußere Hülle. An der Innenseite befinden sich die Endothelzellen, die wie in den meisten großen Blutgefäßen auch im Kapillarbereich ein geschlossenes Zellhäutchen darstellen. Diese Endothelien werden wahrscheinlich von einer spezifischen Kittsubstanz zusammengehalten, die sich Eppinger als ein Gel vorstellt. Die Grenzflächen der Endothelzellen sind in ihren Formen so aneinander gepaßt, daß sie einen innigen Zusammenhang wahren. Die eigentliche Membran (Basalmembran) oder das sogenannte Grundhäutchen besteht aus einem dichten Geflecht von Bindegewebsfibrillen, die zumeist aus Kollagen aufgebaut sind und chemisch fadenförmigen Eiweißmolekülen entsprechen. Unter Bildung von Nebervalenzen verzweigen sie sich zum Zweck einer besonderen Zerreißfestigkeit untereinander, wie man sich nach den Gedankengängen von Mark und Wacek vorstellen kann. Die Membran ist von feinen Lücken, den Stomata, durchsetzt, die sich sogar mikroskopisch nachweisen lassen. Dadurch ist es verständlich, daß das Grundhäutchen unter normalen physiologischen Bedingungen für den Stoffaustausch kein wesentliches Hindernis darstellt. Nach Bargmann sind die Stomata nicht dauernd vorhanden, sondern nur vorübergehend. — Pappenheimer hat auf Grund elektronenmikroskopischer Untersuchungen das Grundhäutchen in 3 Schichten aufgeteilt. Die mittlere Schicht ist die sogenannte Lamina densa, die auf der Blutstromseite von einem löcherigen Gebilde, der Lamina fenestrata begrenzt wird und auf der Gewebseite von Deckzellen belegt ist.

Außerhalb der Grundmembran befinden sich die 1873 von Rouget entdeckten und 1902 von S. Mayer erneut beschriebenen länglichen Zellen, die Perizyten. Ihr Vorhandensein ist wechselnd, so daß sie Benninghoff „unruhige Gäste auf der Kapillarwand“ genannt hat. Ihre Aufgabe ist mehrfach untersucht und beschrieben worden, und man geht nach den zahlreichen vorliegenden Arbeiten in der Annahme nicht fehl, daß sie bei der Kontraktion eine entscheidende Rolle spielen, wie Vimtrup zuerst nachweisen konnte. Krogh schloß aus den Untersuchungen seines Schülers Vimtrup, daß die Rougetzellen die kontraktiven Elemente sind und von sympathischen Fasern versorgt werden. Antagonisten scheint es nicht zu geben. E. R. Clark und E. L. Clark leiteten die Entwicklung der Rougetzellen aus sternförmigen Bindegewebszellen her. Sie stimmten der von Krogh u. a. aufgestellten

Hypothese einer kontraktilen Bedeutung nicht voll zu, da sie u. a. feststellen konnten, daß eine eindeutige Kapillarkontraktion auch schon vor Ausbildung der Perizyten eintreten kann. Diese Befunde wurden von Zweifach und Kossmann bestätigt.

Das gesamte Kapillargebiet wird von einem terminalen Neuroretikulum umgeben (Boeke; Feyrter; Reiser; Sunder-Plassmann), dessen Ansatz an den Perizyten zu suchen ist. Die vegetative Innervation einzelner Kapillaren ist im Tierversuch sichergestellt (Hoffmann und Magnus-Alsleben). Steinach und Kahn fanden, daß elektrische Reize an der Nickhaut der Frösche deutliche Kapillarkontraktionen auslösen. Sanders, Ebert und Florey beschäftigten sich mit der Kapillarkontraktion am Kaninchenohr und wiesen nach, daß auch diese Kontraktionen unter der Kontrolle des sympathischen Nervensystems stehen. Über die Teilnahme der Rougetzellen an diesem Vorgang konnten sie sich, auf Grund ihrer Untersuchungen, jedoch kein Bild machen. Beim Menschen ist die Beteiligung des vegetativen Nervensystems an der Kapillarversorgung nach Büchsel wahrscheinlich. Allerdings ist die Vorstellung von Stöhr, daß das Terminalretikulum jede einzelne Kapillare in ihrem ganzen Verlauf mit vegetativen Nervenfasern versorgen soll, noch nicht allgemein anerkannt (Kazmeier). Nach Bargmann geht die Nervenversorgung bis zum Endothel. Die Kapillaren liegen nach Eppinger nirgends den Parenchymzellen direkt an, sondern sind in das Interstitium eingebettet. Sie werden mit ihnen zusammen als einheitliches funktionelles System betrachtet, zumal beide Elemente entwicklungsgeschichtlich zusammengehören (Hueck).

Sitz der sogenannten Extrazellulärflüssigkeit, die nach Roller etwa 20 bis 40% des Körpergewichtes ausmacht, ist das Interstitium. Die Austauschvorgänge von der Blutbahn zur Zelle laufen also über diese von Loeschke zuerst beschriebenen perikapillären Spalträume. Durch elektronenmikroskopische Untersuchungen konnte Schwarz neue interessante Angaben über den submikroskopischen Bau der Interzellulärsubstanz machen. Insbesondere ist erwähnenswert, daß sich im Altersablauf bestimmte Veränderungen abspielen, auf die noch näher einzugehen sein wird.

Wenn die Betrachtung der anatomischen und physiologischen Vorgänge an den Kapillaren dem Thema der Arbeit entsprechend auch im Vordergrund steht, so soll auch das andere wichtige Glied der Betriebsgemeinschaft Blut — Kapillarwand—Interstitium—Zelle—Lymphbahn besprochen werden, nämlich die Parenchymzelle als Grundeinheit des Gewebes. Die Zellmembran liegt außerhalb der mikroskopischen Sichtbarkeit. Eppinger sah, im Sinne des von Möllendorf entworfenen Zellschemas, diese als eine Emulsion von