CHIRURGIE IN EINZELDARSTELLUNGEN

G. JORNS

ARTERIELLE THERAPIE

ARTERIELLE THERAPIE

VON

PROF. DR. G. JORNS

ARNSTADT

Mit 15 Abbildungen

1950

WALTER DE GRUYTER & CO.

vorm. G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung,
Georg Reimer, Karl J. Trübner, Veit & Comp.

BERLIN W 35

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung, vorbehalten
Copyright 1950 by Walter de Gruyter & Co., vorm. G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung, Georg Reimer, Karl J. Trübner, Veit & Comp.
Berlin W 35
Archiv-Nr. 51 52 50 / 22 Printed in Germany
Druck ; Ernst Hedrich Nachf. (Druckerei A. Seemann), Leipzig C 1 M 308
Genehm.-Nr. 5797/49 — 7765/49
Zahlungsgenehmigung 13/05 V

Vorwort

Als „arterielle Therapie" bezeichne ich Heilmitteleinspritzungen in Hauptschlagadern des Körpers, mit denen allgemeine oder örtliche therapeutische Ziele verfolgt werden. Als Behandlungsverfahren noch jung, ist die gedankliche Grundlage der Stoffzuführung auf arteriellem Wege schon sehr alt, läßt sich doch die Auffüllung der Schlagadern mit fäulniswidrigen konservierenden Lösungen zur Erhaltung tierischer oder menschlicher Leichen bereits als Vorläufer des Verfahrens ansehen. Nimmt man dazu das ärztliche Bemühen der Gegenwart, soeben Verstorbene durch intraarterielle Blutzuleitung in das Leben zurückzurufen, dann spannt sich der Gedanke, die Lebensadern als Zuführungsweg zum Gewebe zu benutzen, von der Absicht, leblose Körper vor der Zersetzung zu bewahren, bis zu der Möglichkeit einer Wiedererweckung bereits Totgeglaubter.

Die arterielle Heilmittelanwendung namentlich mit dem Ziel, durch Einspritzungen in die zuführende Schlagader örtliche Krankheitszustände therapeutisch unmittelbar zu beeinflussen, hat im Laufe der Jahrzehnte zwar keine allgemeine, aber doch eine solche Verbreitung erfahren, daß eine zusammenfassende Darstellung der mit der arteriellen Therapie gewonnenen Erfahrungen gerechtfertigt erscheint. Für eine monographische Bearbeitung sprechen zwei weitere Gründe. Erstens birgt das Verfahren eine Fülle physiologischer und pathologischer Probleme, die in diesem Rahmen noch kaum Beachtung gefunden haben, und zweitens ist das einschlägige Schrifttum in zahlreichen Einzelarbeiten verstreut.

Die vorgelegte Abhandlung ist allerdings in mehrfacher Hinsicht unvollkommen. Einmal war es mir aus äußeren Gründen nicht möglich, alle Veröffentlichungen, deren Inhalt zum Thema gehört, lückenlos zu erfassen; vor allem war mir das ausländische Schrifttum größtenteils nicht oder nur in Referaten zugänglich. Diese Einschränkung bedeutet jedoch insofern keinen allzugroßen Nachteil, als die Heilmittel, auf die sich die älteren Arbeiten in der Hauptsache beziehen, heute für die therapeutische Verwendung nicht mehr in Betracht kommen oder durch wirksamere Mittel ersetzt sind. Zum anderen sind die mit der arteriellen Therapie verknüpften Fragen noch viel zu sehr im Fluß, als daß bereits eine abschließende Beurteilung möglich wäre. Über Wirkungsweise, Leistungsfähigkeit und Gefahrenquellen bestehen mehr Unklarheiten als gesicherte Erkenntnisse. Überschätzung auf der einen, übergroße Bedenken auf der anderen Seite erschweren die Auswertung der Schrifttumsangaben. Auch scheinen die Anwendungsmöglichkeiten der unmittelbaren Heilmittelzuführung durch Benutzung der arteriellen Strombahn, die vielleicht erst am Anfang ihrer Erfolgsaussichten steht, ohne daß deshalb die von v. Eiselsberg mit Recht zur Forderung an eine ältere Ärztegeneration erhobene

„heilige Scheu vor den Gefäßen" mißachtet werden müßte, noch in keiner Weise ausgeschöpft zu sein.

Infolgedessen konnte es auch gar nicht die Aufgabe der vorgelegten Bearbeitung sein, lediglich eine möglichst vollständige Wiedergabe des bisher Versuchten und Erreichten zu bringen. Die Absicht dieses Buches ging vielmehr von vornherein dahin, nach Vermögen alle mit der arteriellen Therapie zusammenhängenden theoretischen und praktischen Fragen anzuschneiden und, soweit angängig, einer kritischen Betrachtung zu unterziehen. Nur auf diese Weise konnte es gelingen, zu einer einigermaßen objektiven Würdigung zu gelangen und dem vielfach umstrittenen Behandlungsverfahren die Wege da zu ebnen, wo es bereits erfolgreich angewendet wurde, und neue Wege zu weisen, auf denen es Erfolge verspricht.

Die Beschäftigung des Verfassers mit den Problemen der arteriellen Heilmittelanwendung reicht nahezu 25 Jahre zurück; seine Berechtigung zur Abfassung dieser Schrift dürfte deshalb nicht zu bestreiten sein. Den Anstoß gaben die seiner Zeit Aufsehen erregenden Mitteilungen des dänischen Tuberkuloseforschers MOELLGAARD (Chemotherapy of Tuberkulosis, Kopenhagen 1924, Ugt. Nordisk Forlag), der des Glaubens war, in dem als Senocrysin bezeichneten Natriumaurothiosulfat ein im Sinne P. EHRLICHS spezifisches Goldpräparat zur Behandlung der menschlichen Tuberkulose gefunden zu haben. Seine Veröffentlichungen brachten den Verfasser, der damals in Wiesbaden bei G. HERXHEIMER arbeitete, auf den Gedanken, Gelenk- und Knochentuberkulosen durch intraarterielle Einspritzungen eines möglichst bakterizid wirkenden Goldpräparates unmittelbar zu beeinflussen.

Die damals gehegten Erwartungen waren zu hoch gespannt: Nicht nur das MOELLGAARDsche Spezifikum erwies sich als unspezifisches Reizmittel, sondern auch dem um den großen Konferenztisch versammelten Stab wissenschaftlicher Mitarbeiter der Firma Calle & Co. gegenüber vermochte sich der junge Assistent mit seinen Plänen nicht durchzusetzen, als er an Stelle des von der Firma herausgebrachten Triphal die Herstellung eines wirksameren Goldpräparates in Vorschlag brachte. Die Bekanntschaft mit dem intraarteriellen Behandlungsweg war jedoch gemacht und regte zu weiteren Fragestellungen an.

Die Bezeichnung des Behandlungsverfahrens als „Arterielle Therapie" wird wahrscheinlich auf Bedenken, vielleicht sogar auf Ablehnung stoßen, doch dürfte kaum eine ebenso prägnante Bezeichnung zu finden sein, auch wird man sie in Anlehnung an die bereits in das Schrifttum eingegangenen Begriffe der arteriellen und der venösen Anästhesie wohl gelten lassen können. Sie ist wohl auch sprachlich richtiger als die Bezeichnung „Intraarterielle Therapie", die F. BLEICHRÖDER dem Verfahren der intraarteriellen Heilmittelanwendung gab, das er als einer der ersten empfohlen hat. Auch die Namensgebung von DOS SANTOS, der in Anlehnung an die Arteriographie von „Arteriotherapie" spricht, erscheint unzutreffend, da sich die Therapie nicht, oder nur zu einem Teil, auf die arteriellen Gefäße, sondern auf deren Versorgungsgebiet erstreckt.

Arnstadt, im Frühjahr 1950.

G. Jorns

Inhalt

Seite

Einleitung 1

I. Die arterielle Strombahn 5

II. Die arterielle Stoffzuführung 24
1. Der Stoffübertritt in das Gewebe 25
2. Ausbreitung und Verweildauer der Stoffe im Gewebe 29
3. Der Verbleib arteriell zugeführter Stoffe 40

III. Heilmittel zur arteriellen Verwendung 49
1. Gefäßwirksame Stoffe 51
2. Gewebswirksame Stoffe 55
3. Zellwirksame Stoffe 61
4. Antiseptisch und antibiotisch wirksame Stoffe 63

IV. Ergebnisse der arteriellen Heilmittelanwendung 67
Geschichtliche Vorbemerkungen 67
A. Einspritzungen in periphere Strombahnen 69
I. Allgemeine therapeutische Ziele 69
II. Örtliche therapeutische Ziele 71
1. Periphere Durchblutungsstörungen 71
2. Akute Infektionen 81
a) Verwendung antiseptischer Lösungen 81
b) Serotherapie 86
c) Vakzinetherapie 87
d) Sulfonamidtherapie 88
e) Penicillintherapie 94
3. Tuberkulose 96
4. Krebs 96
B. Einspritzungen in Organstrombahnen 97
I. Gehirn 98
II. Herz und Lungen 112
III. Leber, Milz, Nieren 114

V. Die Durchführung der arteriellen Therapie 115
I. Das technische Vorgehen 115
1. Operative Freilegung 115
2. Perkutane Punktion und Injektion 118
II. Grenzen und Gefahren 121

Schlußbetrachtung 129

Schrifttum 133

Einleitung

Für Heilmittel, die dem Körper einverleibt werden sollen, stehen grundsätzlich *zwei verschiedene Zuführungswege* zur Verfügung:

1. die Zuführung auf dem Blutwege;
2. die örtliche Anwendungsweise.

Die Blutbahn wird ohne Umweg durch Einspritzungen in Blutgefäße und Blutleiter erreicht. Äußerliche Arzneimittelanwendung sowie Einspritzungen von Heilmittellösungen in die Haut, das Unterhautzellgewebe, die Muskulatur oder andere Gewebe des Körpers wirken sich zunächst am Einspritzungsort aus; nach Resorption der Mittel kommt dann auch eine mittelbare Wirkung von der Blutbahn aus zustande. Das Gleiche gilt für Arzneimittelgaben per os und per anum sowie für die Einbringung von Heilmitteln in vorbestehende Körperhöhlen oder in Wunden. Denn die meisten örtlich angewendeten Stoffe bleiben nicht am Anwendungsort liegen, sondern werden von den Geweben aufgenommen und gelangen durch Aufsaugung in die Blutbahn. Der arterielle Blutstrom bringt sie mit fast allen Gewebsgebieten des Körpers in innige Berührung.

Die arterielle Heilmittelanwendung stellt *eine Sonderform der Stoffzuführung auf dem Blutwege* dar. Die Einspritzung erfolgt unmittelbar in die Hauptschlagader desjenigen peripheren Stromgebietes, in dessen Bereich die therapeutische Wirkung erzielt werden soll. Im Gegensatz zu Arzneimitteleinspritzungen in das Venensystem darf man die intraarterielle Heilmittelverabfolgung deshalb wohl als *gezielte Injektionstherapie* bezeichnen.

Der Unterschied gegenüber der intravenösen Injektion wird besonders deutlich, wenn sich in dem gewählten Stromgebiet ein abgegrenzter örtlicher Krankheitsherd befindet, dessen therapeutische Beeinflussung beabsichtigt ist. Die intravenöse Injektion bedeutet der gezielten arteriellen Zuführungsweise gegenüber geradezu einen Verzicht auf unmittelbare Einwirkung und eine überflüssige Aufsplitterung des therapeutischen Effektes. Dagegen wird das Einwirkungsgebiet durch die Einspritzung des Heilmittels in die zuführende Schlagader ohne Verzug und auf dem geradesten Wege erreicht.

In dieser Beziehung ist der arterielle Weg der örtlichen Einbringung von Arzneimitteln in Körperhöhlen oder Wunden vergleichbar, hat ihr aber voraus, daß die intraarteriell eingespritzten Heilmittellösungen mit dem arteriellen Blutstrom wirklich bis in alle Verzweigungen des Gefäßbaumes einschließlich der Endstrombahn gelangen. Durch die arterielle Zuführungsweise wird ferner der Nachteil der

örtlichen Arzneimitteleinbringung in Wunden, der darin liegt, daß sie gegen den Lymphstrom erfolgt, mit Sicherheit vermieden.

Durch die arterielle Heilmittelanwendung wird nicht nur das gesamte regionäre Gefäßnetz erfüllt, sondern, sofern die verwendeten Stoffe die Haargefäßgrenze zu überschreiten vermögen, auch die Gewebsflüssigkeit und das Gewebe selbst erreicht. In erster Linie ermöglicht der *Stoffübertritt in das Gewebe* die therapeutische Beeinflussung krankhafter Vorgänge in arteriellen Stromgebieten. Handelt es sich dabei um eine fortschreitende Gewebsinfektion, so erfolgt die Heilmitteleinwirkung außerdem entgegengesetzt der Ausbreitungsrichtung des Krankheitsgeschehens. In dieser Hinsicht teilt die arterielle Therapie die Vorzüge parenteraler Arzneimittelgaben, hat ihnen gegenüber aber den Vorzug, daß die Beschränkung der Stoffzuführung auf ein begrenztes arterielles Stromgebiet eine entsprechend niedrigere Dosierung zuläßt und trotzdem von nicht geringerer oder gar stärkerer therapeutischer Wirksamkeit ist. Durch die *Ausschaltung des gesamten übrigen Blutkreislaufes* kann bereits mit verhältnismäßig kleinen Heilmittelmengen ein so hoher Blut- und Gewebsspiegel im Versorgungsgebiet einer Stammarterie wie auf keine andere Weise erreicht werden. Dabei läßt sich die wirksame Gesamtmenge des verabfolgten Heilmittels weit unter derjenigen halten, die bei anderen Darreichungsformen, mit Ausnahme vielleicht der rein örtlichen (äußerlichen) Anwendung, zur Erzielung ausreichend starker therapeutischer Wirkungen erforderlich ist.

Schon rein rechnerisch kann man mit einiger Genauigkeit ermitteln, welche Menge eines Medikamentes im Verhältnis zum gesamten Gefäßgebiet des Körpers ausreicht, um bei regionärer arterieller Zuführung die gleiche Heilmittelwirkung zu erzielen. Da die Verdünnung der eingespritzten Lösung durch die Gesamtblutmenge fortfällt, wird man beispielsweise für die Injektion in eine Arteria brachialis nur etwa $^1/_{10}$ der Menge oder der Konzentration der Lösung benötigen, die erforderlich ist, um dieselbe Konzentration des Stoffes im Gesamtblutkreislauf zu erreichen.

In eindrucksvoller Weise hat O. SHAFFER den *Unterschied zwischen intravenöser und intraarterieller Stoffzuführung* aufgezeigt. Er wies die rasche und hohe Konzentration, die im Versorgungsgebiet der Schlagadern erzielt wird, mit Hilfe radioaktiven Phosphors nach, während bei intravenöser Zufuhr von $^4/_{10}$ Millicurie P 32 in 10 ccm physiologischer Kochsalzlösung die Konzentration des Stoffes in dem untersuchten Bein den Höchstwert von 70 Stromstößen des GEIGER-MÜLLERschen Zählrohres erst nach 1 Stunde erreichte, war bei intraarterieller Zuführungsweise bereits nach 1 Minute ein Höchstwert von 200 Stromstößen festzustellen. Diese Konzentration sank nur langsam ab und erreichte erst nach 3 Stunden den im übrigen Körper bestehenden Normalspiegel. Aus diesen Feststellungen geht hervor, daß sich intraarteriell zugeführte Stoffe zunächst in sehr hohem Maße allein im Stromgebiet der Schlagader ablagern und sich erst im Verlaufe mehrerer Stunden allmählich gleichmäßig über den gesamten Körper verteilen.

Nach den Beobachtungen O. SHAFFERS erfährt der zugeführte Stoff mit dem Durchlaufen des Versorgungsgebietes der injizierten Arterie eine derart starke Verdünnung, daß nach seinem Übergang in den allgemeinen Kreislauf kaum noch mit nennenswerten therapeutischen Wirkungen gerechnet werden kann. Diese Tatsache hat auf der anderen Seite den unleugbaren Vorteil, daß ebensowenig

wie Heilwirkungen nachteilige Folgeerscheinungen des verwendeten Mittels selbst bei verhältnismäßig hoher Dosierung zu befürchten sind.

Die Beschränkung der arteriellen Therapie auf ein Teilgebiet des Blutkreislaufes, dem nur ein Organsystem oder ein segmentäres Schlagadergebiet zugeordnet ist, birgt noch *weitere Vorteile.* Durch die Umgehung des allgemeinen Körperkreislaufes, insbesondere aber durch die Vermeidung der Passage des Lungenkreislaufes, wird nicht nur die Verdünnung und Verzettelung der zugeführten Heilmittellösung, sondern auch die Umwandlung, Anlagerung oder Auflösung des verwendeten Stoffes im Blut verhindert. Es besteht auch keine Gefahr, daß die zugeführten Arzneimittel in anderen als den gewünschten Geweben abgefangen, abgelagert oder abgebaut werden. Die wichtigsten Abfang- und Speicherungsstätten des Körpers werden bei der Einspritzung in periphere arterielle Strombahnen überhaupt nicht berührt. Vorgänge wie Speicherung, Anlagerung und Entgiftung können infolgedessen nur in dem Abschnitt des Blutkreislaufes stattfinden, in welchem die zugeführten Stoffe mit dem strömenden Blut und mit den Gefäßwänden in engste Berührung kommt.

Daß solche Vorgänge überhaupt auftreten, ist für Wirkungsgrad und Wirkungsweise der verwendeten Heilmittel gleich bedeutsam, aber auch richtunggebend für die Dosierung. So wird man Stoffe, von denen bekannt ist, daß sie im arteriellen Stromgebiet hängenbleiben oder entgiftet werden, zweifellos in erheblich größerer Menge oder in höherer Konzentration, auf jeden Fall aber mit einem Höchstmaß therapeutischer Wirksamkeit intraarteriell einspritzen dürfen, ohne von ihrem späteren Übertritt in den allgemeinen Kreislauf schädigende Allgemeinwirkungen befürchten zu müssen. In der gleichen Ebene liegt die Möglichkeit, unerwünschte Nebenwirkungen vermeiden zu können. Nach Untersuchungen, auf die ich später zurückkomme, können Gifte im Stromgebiet eines arteriellen Gefäßes in so hohem Maße unwirksam gemacht werden, daß sich die gleiche Menge eines Giftes bei intraarterieller Einspritzung als weitaus weniger giftig erweist als bei intravenöser Verabfolgung.

Die arterielle Heilmittelanwendung erlaubt demnach eine *wesentlich höhere Konzentration* der Mittel am Ort der beabsichtigten Wirkung und verspricht daher weitaus bessere therapeutische Erfolge als jede andere Anwendungsweise, wenn wir von der rein örtlichen Verwendung absehen, die nur in begrenztem Umfange bei Wunden oder Körperhöhlen möglich ist.

Den erörterten Vorzügen der arteriellen Therapie steht als ihr bedeutendster *Nachteil* der Zwang zur Wiederholung der Einspritzungen in die gleiche Schlagader gegenüber. Wiederholungseinspritzungen steigern zweifellos die mit diesem Vorgehen verbundenen Gefahren und technischen Schwierigkeiten, lassen sich aber nicht umgehen, da gerade für die arterielle Heilmittelzuführung kaum anzunehmen ist, daß zur Erzielung eines wirklichen Heilerfolges bereits eine einmalige Einspritzung ausreicht. Als Haupteinwand gegen die arterielle Einspritzungsbehandlung wird man deshalb vor allem die wahrscheinlich für einen ausreichenden therapeutischen Erfolg viel zu kurze Verweildauer der Arzneimittel im Stromgebiet der Arterie anzusehen haben. Dieser Umstand ist es, der in erster Linie zu wiederholten Einspritzungen nötigt.

Diese Erwägungen lassen die Frage aufwerfen, inwieweit es durch besondere Vorkehrungen möglich ist, das rasche Abfließen intraarteriell eingespritzter Heil-

mittellösungen aus dem Gewebe wirksam zu verzögern. Vor allem dürften sich daraus, daß die arterielle Strömung in den peripheren Kreislaufabschnitten für kürzere oder längere Zeit gedrosselt oder ganz abgesperrt und daß der venöse Blutabfluß gestaut oder gänzlich aufgehoben werden kann, die verschiedensten Einwirkungsmöglichkeiten auf die Gewebsdurchblutung und die mit ihr verknüpften Vorgänge der Verweildauer, Ausbreitung und Aufsaugung der arteriell herangeführten Heilmittel ergeben.

Der Klärung bedarf in diesem Zusammenhang auch die Frage nach dem *biologischen Verhalten und dem weiteren Schicksal der in die arterielle Blutbahn eingespritzten Arzneimittel.* Neben der Art der verwendeten Stoffe ist ihre Angriffs- und Wirkungsweise bei arterieller Zuführung von ausschlaggebender Bedeutung. Aus zahlreichen Beobachtungen geht hervor, daß sich je nach Art und Konzentration der gewählten Lösungen und dem Ort der Verabfolgung Wirkungssteigerungen wie Wirkungsabschwächungen ergeben können. Außer der chemischen Zusammensetzung einer Substanz bestimmt ferner die Beschaffenheit des Milieus, in dem sie zur Wirkung gelangt, deren Art und Ausmaß. Das hat unter anderem W. SCHULEMANN am Beispiel der in der Zahnheilkunde gebräuchlichen Lokalanästhetika gezeigt.

Infolgedessen ist der *Auswahl der Heilmittel,* die für die arterielle Therapie herangezogen werden, eine nicht zu unterschätzende Rolle zuzuschreiben. Ferner ist der Funktionszustand der Organe und Gewebe, der sowohl von allgemeinen wie von örtlichen Einflüssen abhängig ist und die Wirksamkeit der zugeführten Medikamente beeinflußt, zu berücksichtigen. Wie bereits angedeutet, bestimmen auch Durchblutungsgrad des Gewebes und Änderungen der Blutverteilung und der Blutdurchströmung eines Organs Art und Ausmaß der Ablagerung oder des Abbaues der in das Gewebe gelangten Stoffe. Selbst die Zellen zeigen den auf sie einwirkenden Substanzen gegenüber häufig ein ganz verschiedenes Verhalten, je nachdem, ob sie unter physiologischen Bedingungen stehen oder „gereizt" sind. Ihrem jeweiligen Funktionszustand entsprechend werden die Zellen zudem empfindlicher oder unempfindlicher. Unter pathologischen Verhältnissen sind erst recht abweichende Reaktionen zu erwarten.

In erster Linie wird die Stoffauswahl durch die *therapeutische Zielsetzung* bestimmt. Für die arterielle Verwendung kommen vor allem chemotherapeutisch wirksame, der Bekämpfung spezifischer und unspezifischer Infektionen dienende Stoffe sowie gefäßerweiternde und durchblutungsfördernde Mittel, wie sie zur Behandlung peripherer Gefäßleiden benutzt werden, in Frage. Die arterielle Anwendungsweise schließt die gleichzeitige Einspritzung von Arzneimitteln verschiedener Wirkungsweise keineswegs aus; sie kann sich sowohl auf örtliche und allgemeine Einwirkungen wie auf verschiedene Angriffsorte im Bereich ein und desselben Stromgebietes erstrecken. Letzteres trifft beispielsweise dann zu, wenn Stoffe chemotherapeutischer und gefäßbeeinflussender Art gemeinsam verabfolgt werden. Die gleichzeitige Einspritzung mehrerer Stoffe mit örtlicher Auswirkung innerhalb eines arteriellen Bezirkes hat wahrscheinlich auch auf die mannigfachen Sondereinrichtungen des peripheren Gefäßnetzes, die der Regelung der Blutverteilung und der Blutströmung dienen, einen wesentlichen Einfluß.

Die arterielle Therapie, bei inneren Leiden als Methode, bei örtlichen Infektionen als Ergänzung der chirurgischen Behandlung gedacht, läßt sich mit zahlreichen

anderen Behandlungsverfahren verbinden, die gegen periphere Durchblutungsstörungen oder herdförmige Krankheitsvorgänge gerichtet sind. Das gilt sowohl für örtliche, insbesondere physikalische Verfahren, wie für operative Eingriffe, z. B. am sympathischen Nervensystem.

Die *Anwendungsbreite* der arteriellen Therapie erstreckt sich praktisch auf den gesamten peripheren Kreislauf, also auf alle Stromgebiete, die jenseits des Herzens als der Zentrale des Blutumlaufes gelegen sind. Es gibt in der Tat nur wenige Ausbreitungsgebiete der arteriellen Blutversorgung des Körpers, die nicht schon mit irgendeinem diagnostischen oder therapeutischen Ziel „eingespritzt" worden sind. Das Hauptanwendungsgebiet wird jedoch ohne Frage immer die Körperperipherie bilden. Hauptsächlich sind die Gliedmaßengefäße der intraarteriellen Arzneimittelzuführung zugänglich. Aber auch die Einbeziehung einzelner Organe und Organsysteme in den Aufgabenbereich der arteriellen Heilbehandlung liegt nicht außerhalb des Bereiches der praktischen Möglichkeiten.

I. Die arterielle Strombahn

Die gedankliche wie die praktische Beschäftigung mit einem Verfahren, welches dem Gewebe Heilmittel unmittelbar mit dem arteriellen Blutstrom zuführen soll, berührt fast den gesamten Fragenkreis der Blutversorgung unter physiologischen und pathologischen Bedingungen. Die Gesetzmäßigkeiten der Blutverteilung und der Blutströmung, die Bedeutung von Anlage, Verästelung und Steuerung des Blutgefäßsystems sowie die Beziehungen der Endstrombahn zu den Zellen und Geweben spielen für die Anzeige und Durchführung dieses Behandlungsverfahrens ebenso eine Rolle wie die Möglichkeiten, die Gewebsdurchblutung und damit den Stoffzutritt zum Gewebe zu steigern oder die Grundlagen vorhandener Kreislaufstörungen zu erkennen und therapeutisch zu beeinflussen. Der Ausrichtung und der Anwendungsweise der arteriellen Therapie gemäß stehen dabei die Durchblutungsverhältnisse der Organe und vor allem der peripheren Körperabschnitte im Vordergrund.

Die *Blutverteilung innerhalb des Gefäßnetzes* stellt einen Anpassungsvorgang an den Blutbedarf der großen arteriellen Stromgebiete dar. Organe und Gewebe erhalten soviel Blut, als der jeweilige Grad ihrer Tätigkeit und ihres Gewebsstoffwechsels erfordert. Die ruhenden Organe werden weniger, die tätigen stärker durchblutet. Die kreisende Blutmenge wird dazu entsprechend oft umgeleitet oder auch erhöht, falls die Einschränkung des einen den Mehrbedarf des anderen Abschnittes nicht ausgleichen kann.

Die *Zuleitung des Blutstromes* zu den Organen, zur Muskulatur und zur Körperbedeckung besorgen die großen und mittleren Schlagadern. Durch Änderung ihres Widerstandes regeln sie die Verteilung der Blutmenge, die das Herz in rhythmischer Arbeit auswirft, auf die verschiedenen Stromgebiete, die zum Teil in funktioneller Wechselwirkung zueinander stehen und auf diese Weise weitere Blutverschiebungen ermöglichen, ohne daß die Größe des Gesamtblutumlaufes oder die Geschwindigkeit der Blutströmung dadurch wesentlich verändert würde. Stets ist ein größerer oder kleinerer Anteil des Gesamtblutes aus dem Kreislauf ausgeschaltet und in er-

weiterten Gefäßbezirken unter der Haut oder in den Eingeweiden zurückgehalten. Durch Verengerung dieser Bezirke und Verminderung ihres Blutgehaltes kann dem Gesamtkreislauf mehr Blut zugeführt werden, so daß es für den Mehrbedarf an anderen Körperstellen zur Verfügung steht.

Blutverteilung und -verschiebung beruhen also auf einer genauen Anpassung der Weite der verschiedenen Gefäßprovinzen. Verengerungs- und Erweiterungsfähigkeit selbst der kleinsten Gefäße regeln die Durchblutung noch in den fernsten und feinsten Verzweigungen des Gefäßbaumes.

Bereits der anatomische *Wandaufbau der Schlagadern* ist den Aufgaben, die den einzelnen Gefäßabschnitten im Rahmen der Blutversorgung des Körpers zufallen, vorzüglich angepaßt. Der sog. Windkesselfunktion der *Aorta* entspricht ihr Reichtum an elastischem Gewebe, von dem auch die Gefäßwände der großen, sich unmittelbar an die Bauchschlagader anschließenden Arterien durchsetzt sind.

Die *Schlagadern der Gliedmaßen* gehören dagegen schon zu den „muskulösen" Gefäßen und zeichnen sich durch kräftig entwickelte Muskelfasern in ihrer mittleren Wandschicht aus. Die Ausbildung der Mediamuskulatur in den arteriellen Gliedmaßengefäßen zeigt deren besondere Leistung im Dienst der örtlichen Druckregelung an. Ihrem vorwiegend muskulösem Wandaufbau zufolge üben sie eine muskulöse Funktion aus, die weniger der aktiven Zusammenziehung zur Fortbewegung der Blutsäule im Gefäßrohr, als vielmehr der wechselnden Wandspannung der Gefäße dient. Dadurch werden dem strömenden Blut nicht nur verschieden große, allgemeine Widerstände entgegengesetzt, sondern auch die örtliche Durchblutung je nach Ausmaß der örtlichen Gefäßspannung und in Anpassung an die Bedürfnisse des Gewebes gesteigert oder herabgesetzt.

Von Gefäßweite und Gefäßwiderstand hängt ferner die *Strömungsgeschwindigkeit* des Blutes ab, das auf immer verzweigteren Bahnen und immer langsamer und gleichmäßiger strömend in die Peripherie der arteriellen Strombahn gelangt.

Sind schon die Schlagadern nicht bloß als ein Gerüst starrer Blutleiter anzusehen, so darf die *Endstrombahn,* die den Austauschvorgängen zwischen Blut und Gewebe dient, nicht ohne Berechtigung als das Herz des peripheren Kreislaufes bezeichnet werden. Ihrer Aufgabe wird sie durch eine sinnvolle Gliederung ihrer verschiedenen, funktionell aber zusammengehörenden Abschnitte gerecht.

Morphologisch beginnt die Endstrombahn da, wo die feinsten Verzweigungen der arteriellen Gefäße aufhören, in ihrer Innenauskleidung eine zusammenhängende Muskelschicht aufzuweisen. Von hier an bezeichnet man sie als Arteriolen, die ihnen unmittelbar vorangehenden Gefäßabschnitte als Präarteriolen und beide zusammen als Vorflutgefäße (M. RATSCHOW).

Das Haargefäßnetz gliedert sich in seinen arteriellen und venösen Schenkel der Kapillare mit dazwischenliegender Kapillarschlinge.

Jedem dieser feinsten Gefäßabschnitte kommen genau abgestufte Fähigkeiten und Aufgaben zu.

Die *Vorflutgefäße* regeln durch Erweiterung und Verengerung die Größe des Blutzuflusses zu der eigentlichen kapillären Austauschfläche. Beim Abebben der herzsystolischen Druckwelle des in die Peripherie des Kreislaufes abströmenden Blutes spielen die Arteriolen die Hauptrolle. Während der systolische Druck von der Aorta bis zu den kleinen peripheren Arterien nur wenig abfällt, wird er durch

den Strömungswiderstand in der sich verbreiternden Endstrombahn fast völlig aufgehoben. Die als *Nachflutgefäße* bezeichneten Venolen und Postvenolen üben durch Enger- oder Weiterstellung ihrer lichten Weite gleichfalls einen aktiven Einfluß auf die örtliche Blutfülle und den Abfluß des venösen Blutes aus. In erweitertem Zustand wirken sie als Blutspeicher; ihre Verengerung fördert den Blutrückfluß. Auch der weitere Rücktransport des Blutes zum Herzen geht unter aktiver Mitwirkung der abführenden Gefäße, den mittleren und größeren Venen, vor sich.

Der eigentliche Gas-, Stoff- und Flüssigkeitswechsel erfolgt allein im Niveau der Kapillaren. Die Kapillarschlingen trennt nur ihre aus lockerem, bindegewebigen Maschenwerk bestehende und von Endothelzellen ausgekleidete Wand von der die Zellen umgebenden Gewebsflüssigkeit. Von der Weite oder Enge des Kapillarquerschnittes, der sich ändert, je nachdem sich ruhende Kapillaren öffnen oder blutführende Schlingen leerlaufen und zusammenfallen, hängen Durchblutungsgrad des Gewebes und Ausmaß des Gewebsstoffwechsels ab. Kapillarerweiterung bedeutet stets Steigerung der Stoffwechselvorgänge, Kapillarenge Stoffwechselruhe. An diesem Austausch zwischen Blut und Gewebe sind sowohl Kapillarendothelien wie Gewebszellen aktiv beteiligt.

Der ungeheuer große und dazu noch veränderliche, anpassungsfähige Querschnitt des Gesamtkapillarnetzes wird, wie bereits angedeutet, an keiner einzigen Stelle des Körpers und von keinem Gewebsabschnitt oder Organ zur gleichen Zeit in gleichem Maße beansprucht. Ruhe und Tätigkeit wechseln vielmehr, den Gewebs- und Stoffwechselbedürfnissen entsprechend, ständig miteinander ab. In erster Linie wird der Blutzustrom zu den Haargefäßen — unter Vermittlung der Gefäßnerven — vom Gewebe aus hingelenkt. Im Gewebe und nicht in dem übergeordnetem Kreislaufzentrum entstehen die auslösenden Kräfte für das Gesamtgeschehen.

Überhaupt wird man sich das Kapillargefäßsystem nicht als eine zentral gesteuerte, zusammenhängende Einheit vorstellen dürfen, sondern aufgelöst in eine Unzahl kleinster *Kapillarstromeinheiten* (A. STRECKER). Jede Stromeinheit stellt gewissermaßen einen Geringstkreislauf dar, dem nur eine kleine Anzahl Haargefäßschlingen zwischen einem Arteriolenende und dem Anfang einer kleinsten venösen Abflußbahn zugehört und einen entsprechend begrenzten Gewebsbezirk versorgt. Dadurch werden „Gewebsernährung und Gewebsventilation" (W. R. HESS) in zugleich ausreichender und doch sparsamer Weise in allen Teilen gewährleistet und die Verbindung der Blutbahn mit dem interzellulären Saftspaltensystem hergestellt, ohne daß das Kapillarnetz seine Selbständigkeit oder seine Zugehörigkeit zum Blutgefäßsystem einbüßt.

In Weiterführung dieser Vorstellungen müßten gebietsweise zusammengefaßte Gruppen kapillarer Stromeinheiten größere, der Anlage und dem Bau von Geweben und Organen angeglichene Einheiten immer höherer Ordnung bilden bis hinauf zu den großen zusammengehörigen Stromgebieten, deren Ausdehnung und Abgrenzung sich aus Verlauf und Stärke der arteriellen Gefäßverzweigungen ergibt. Jede Gewebsregion und jedes Organ besitzt auf diese Weise einen entwicklungsgemäß zugehörigen Abschnitt des Blutgefäßsystems.

Die Grundeinheiten des Haargefäßnetzes stehen durch zahllose Verbindungsgefäße zwischen den kleinsten arteriellen und venösen Gefäßverzweigungen in engster Verbindung miteinander. Somit setzt sich die anscheinend untrennbar

zusammenhängende Endstrombahn eigentlich aus *zwei funktionell verschiedenen Anteilen* zusammen, erstens aus der Masse der kleinsten funktionellen Einheiten der Endstrombahn mit der Aufgabe der Blutversorgung des Gewebes und zweitens aus der Vielzahl von Verbindungsbahnen, die der wechselseitigen Regelung des Blutzu- und -abflusses, der örtlichen Blutverteilung und der Durchflußgeschwindigkeit dienen.

H. HAVLICEK hat unstreitig das Verdienst, als einer der ersten die klinische Bedeutung der *arterio-venösen Anastomosen* oder Kurzschlüsse und ihrer Sondereinrichtungen erkannt zu haben.

Den Anatomen waren sie schon lange bekannt: bereits 1872 hat H. HOYER eine Arbeit „Über unmittelbare Verbindungen zwischen Arterien und Venen" veröffentlicht. Kreislaufphysiologisch wurden sie jedoch lange Zeit als völlig bedeutungslos angesehen. Noch 1938 hat sie W. R. HESS „bestenfalls als entwicklungsgeschichtliche Fehlbildungen" bezeichnet. Inzwischen hat die anatomisch-histologische Forschung (S. v. SCHUHMACHER, R. SPANNER, M. CLARA u. a.) soviel feingewebige Unterlagen vorgelegt und eine derart verwirrende Fülle neuer Tatsachen aufgedeckt, daß die Klinik an der Großartigkeit dieses Teiles des peripheren und Organkreislaufes nicht mehr vorbeigehen kann.

Die Verbindungsgefäße sind *vor* dem Kapillarkreislauf zwischen zuführenden Arterien und abführenden Venen eingeschaltet. Sie ermöglichen es dem Blut, von der „arteriellen Hochdruck- in die venöse Niederdruckleitung" abzufließen, ohne die Kapillaren zu durchströmen. Damit der Abfluß, dem bedeutend geringeren Strömungswiderstand in den Kapillarumgehungsbahnen entsprechend, nicht ständig vor sich geht, besitzen die Verbindungsgefäße in ihren wandauskleidenden Zellen, die als Abkömmlinge von Muskelzellen angesehen werden und nach S. v. SCHUHMACHER das Azetylcholin bilden, die Fähigkeit der Quellung und Entquellung, also der Verschlußfähigkeit. Andere Gefäßverbindungen dieser Art weisen muskuläre Sperreinrichtungen auf, die ebenfalls alle Übergänge vom völligen Verschluß bis zur stärksten Erweiterung der Lichtung zulassen. Erst diese Sperren gewährleisten die abgestufte Steuerung des Blutzuflusses zum Kapillargebiet.

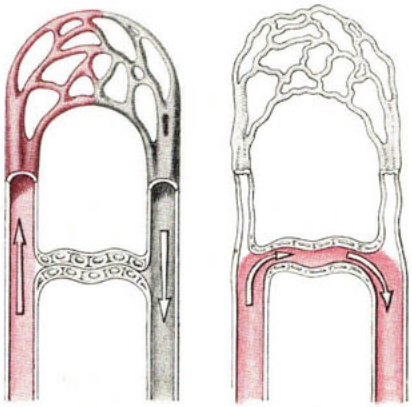
Ihre *gefäßphysiologische Bedeutung* wird in der Fähigkeit gesehen, den Strömungswiderstand im Haargefäßnetz, dem sie vorgeschaltet sind, mit Hilfe ihrer Sondereinrichtungen ändern zu können. In der Regel werden die „Kurzschlüsse" völlig geschlossen angetroffen. Das bedeutet, daß das von den Arteriolen her zuströmende Blut zur Gänze durch die Kapillarschlingen fließt. Dadurch tritt eine starke Blutzuführung zum Kapillargebiet sowie eine Strömungsverlangsamung in den Hauptgefäßen selbst ein, ferner sinken Druck und Strömungsgeschwindigkeit des in die postkapillären Venen gelangenden Blutes. Umgekehrt führt die Öffnung der Verbindungswege zwischen Arteriolen und Venolen zur Umgehung des eigentlichen Kapillarkreislaufes, so daß arterielles Blut ohne Druckherabsetzung und Strömungsverlangsamung in die venösen Abflußbahnen gelangt. Ein geregeltes Zusammenspiel zwischen arterio-venösen Anastomosen und Kapillaren ist demnach geeignet, sowohl Leerlauf wie Überfüllung des Kapillarkreislaufes in Anpassung an die Bedürfnisse des Gewebes zu verhüten.

In einfachster Weise veranschaulicht das von H. HAVLICEK gegebene *Schema* (Abb. 1) die Verhältnisse. Es zeigt den Weg des Blutes einmal bei geschlossenen, das andere Mal bei offenen Verbindungsgefäßen.

P. SUNDER-PLASSMANN will arterio-venöse Anastomosen am lebenden Menschen im Zustande maximaler Öffnung *angiographisch* zur Darstellung gebracht haben,

und zwar am Oberschenkel eines Kranken mit organischem Verschluß der Arteria poplitea bei Endangiitis obliterans, und glaubt damit Beobachtungen von SPRENGELL bestätigen zu können, nach denen das Kontrastblut bei Arteriographien gar nicht selten durch die Venen des Oberschenkels abfließt, ohne überhaupt erst die Gefäße der Muskulatur zu erreichen; er vermutet, daß es durch einen Reiz bei der Arteriographie zur Öffnung arterio-venöser Nebenschlüsse komme, die das Zustandekommen des Füllungsbildes vereiteln. Dabei kann es sich allerdings nur um größere Verbindungsgefäße handeln.

Wenn diese Schlüsse zutreffen, wird man mit der gleichen Möglichkeit für die arterielle Therapie rechnen müssen und Versager unter anderem auf eine *Umflutung des Kapillargebietes* zurückzuführen haben. Überhaupt wird man örtliche Blutverteilungsstörungen bei der Erreichbarkeit der peripheren Gewebsabschnitte durch intraarterielle Stoffzuführung in Rechnung setzen müssen. Nicht nur große Muskelquerschlüsse, sondern auch die Durchgängigkeit oder Undurchgängigkeit der zahllosen kleinen arterio-venösen Verbindungsbahnen werden dafür maßgebend sein können, ob die in Schlagadern eingespritzten Lösungen mit allen kapillaren Stromeinheiten auch tatsächlich in Berührung kommen.



1 2

Abb. 1. Schema des Blutkreislaufes in der Endstrombahn, gesteuert durch das Spiel arterio-venöser Kurzschlüsse. Bei *1* Schaltung des Blutstromes bei geschlossenem arterio-venösem Kurzschluß über das Kapillarnetz. — Venenblut dunkel und pulslos. Bei *2* Schaltung des Blutes bei offenem arterio-venösem Kurzschluß, Kapillarnetz im Leerlauf. — Venenblut hell und pulsierend. (Nach HAVLICEK: Congres Française de Chirurgie Paris 1935.)

Außer den arterio-venösen Verbindungsgefäßen und Kurzschlüssen gibt es im peripheren Kreislauf eine Reihe weiterer Sondereinrichtungen, die gleiche oder ähnliche Aufgaben erfüllen. Neben *Sperrarterien* und *Drosselvenen*, die den Zu- und Rückstrom des Blutes regeln und selbst größere Gewebsgebiete in den Kreislauf ein- oder ausschalten können, sind Spiralarterien, Trichtervenen und andere Stromregler bekannt. KOCH und NORDMANN haben unmittelbare kapilläre Gefäßverbindungen zwischen Arterien und Venen beschrieben, die sie als derivatorische Kanäle bezeichnen. Sie stellen vielleicht die eigentlichen Querverbinbungen zwischen den kapillaren Stromeinheiten dar.

Anordnung, Häufigkeit und Vorkommen der anastomosierenden Gefäßabschnitte sind je nach Organsystem und Gewebsgebiet verschieden. Die Unterschiede entsprechen offenbar den Anforderungen, die an jedes einzelne Stromgebiet gestellt werden. Rein anatomisch werden mehr oder weniger gestreckt verlaufende Verbindungsgefäße (Abb. 2) von gewundenen oder aufgeknäuelten Querverbindungen unterschieden. Besonders verwickelt ist der Aufbau der sog. HOYER-GROSSERschen „Glomeruli" (Abb. 3). Beide Formen lassen im einzelnen *drei* verschiedenartige Abschnitte erkennen: Einen arteriellen, einen intermediären und einen venösen.

Der zuführende *arterielle* Schenkel verläßt meist rechtwinklig das Stammgefäß, das nur selten ein Arterienendstück darstellt, sondern fast ausnahmslos in Kapillargefäße übergeht.