

Die Verteilung des Gefäßinhalts beim überlebenden menschlichen Organismus und beim Versuchstier unter verschiedenen physikalischen und chemischen Bedingungen.

Von

Priv.-Doz. Dr. Arthur Hintze,

Assistent der Chirurgischen Universitätsklinik (Geheimrat Bier) Berlin.

Mit 8 Abbildungen im Text und Tafel VI—VIII.

(Eingegangen am 5. August 1930.)

II. Teil. (Fortsetzung und Schluß.)

B. Die Beobachtungen. 1. Versuche am Überlebenden.

b) Hydrostatische Bedingungen.

Im vorhergehenden sind diejenigen Versuche besprochen worden, welche die Blutverteilung im überlebenden menschlichen Organismus erläutern, soweit sich diese Verteilung mechanisch-hydrodynamisch, durch den Druckunterschied zwischen einem Punkte des zuführenden Abschnitts des Gefäßsystems und einem Punkte des abführenden Abschnitts erklärt. Im folgenden soll auf eine Anzahl von Versuchen eingegangen werden, welche zeigen, wie *hydrostatische Bedingungen das durch den Druckunterschied gegebene Verteilungsschema abändern*. — In einem starren Röhrensystem können die Röhren weder durch einen Druck von außen verengt noch durch einen Druck von innen erweitert werden. Die in einem solchen System ohne anderen als den atmosphärischen Druck ruhende Flüssigkeit unterliegt ausschließlich hydrostatischen Bedingungen. Wird das System von einer *inkompressiblen Flüssigkeit* durchströmt, so macht sich allein der Druckunterschied zwischen der *Eingangs- und Ausgangspforte* des Systems geltend; liegen Eingangs- und Ausgangspforte in einem verschiedenen Niveau, so geht der hydrostatische Druckunterschied in den hydrodynamisch bedingten mit ein. Betrachten wir als Zu- bzw. Abflußbehältnis für den Kreislauf des Menschen das linke bzw. rechte Herz, so sehen wir, daß beide im selben Niveau liegen, so daß in dieser Hinsicht ein hydrostatischer Druckunterschied nicht in Rechnung zu ziehen ist.

Im Gegensatz hierzu sind die *hydrostatischen Verhältnisse für ein elastisches Gefäßsystem von erheblicher Bedeutung*, und zwar in um so höherem Grade, je nachgiebiger die Wände dieses Systems sind und je größer die durch seine vertikale Erstreckung hervorgerufenen Niveauunterschiede sind. Diese Betrachtung ergibt ohne weiteres, daß sich die hydrostatischen Verhältnisse beim Menschen hauptsächlich bei

aufrechter Haltung (bzw. Kopfstellung), und zwar vorwiegend am Capillar- und Venensystem auswirken werden.

Die *Blutverteilung* im Gefäßsystem untersteht hydrostatischen Bedingungen von zwei Gesichtspunkten aus. Einmal bewirkt die Körperhaltung in dem elastischen System kommunizierender Röhren einen verstärkten *Wanddruck von innen* in den nach unten gelegenen Teilen des Systems und dementsprechende Erweiterung der Gefäße; es findet also eine *Blutverschiebung zugunsten der abhängigen Teile* statt. Da es sich um einen strömenden Inhalt handelt, wird dieser zwar der Schwerkraft entgegen aus den abhängigen Körperabschnitten wieder entfernt, dies geschieht aber entsprechend dem vergrößerten Gesamtquerschnitt der Bahn mit verringelter Geschwindigkeit, und zwar wirkt sich dieser Umstand am Venensystem in dem Maße aus, daß trotz der Begünstigung, welche der arterielle Blutstrom durch das „Bergabfließen“ erfährt, für die Gesamtdurchströmung vom linken zum rechten Herzen doch eine Verringerung der Durchströmungsgröße sich ergibt. Organe in abhängigen Körperabschnitten sowie die unteren Gliedmaßen befinden sich bei aufrechter Haltung aus hydrostatischen Gründen *im Zustande leichter „Stauung“*, d. h. bei vermehrter Blutfülle zeigen sie eine im Verhältnis zur Horizontallage verminderte Gesamtdurchströmung. — Zweitens machen sich *von außen auf die Körperoberfläche wirkende Drucke* am Gefäßsystem geltend (Luftdruck, Druck durch feste oder elastische Körper), von denen hier nur der hydrostatische Druck einer von außen drückenden Wassermasse ins Auge gefaßt werden soll; ein hydrostatischer Druck wirkt auf den menschlichen Embryo dauernd bis zum Zeitpunkte der Geburt, nach der Geburt kommt ein hydrostatischer Druck von außen nur im Bade in Betracht.

Der hydrostatische Innendruck.

Hinsichtlich der *Venen* ist zu berücksichtigen, daß ihre Wände, noch ehe die Elastizität in Anspruch genommen wird, also bei sehr geringem Innendruck, *in hohem Maße entfaltbar* sind und umgekehrt bei geringem Außendruck sich aneinander legen; ferner ist der aus hydrodynamischen Gründen in der Norm in ihnen vorhandene Druck so gering, daß ihre Wandelastizität nur in unerheblichem Maße in Anspruch genommen wird, um so mehr unterliegt die Verteilung des Inhalts in diesen, schlaffen Wassersäcken gleichenden Gefäßräumen den hydrostatischen Umständen. — Nur in einem Falle verhält sich die im Gefäßsystem ruhende Flüssigkeitsmenge entsprechend den Verhältnissen im starrwandigen System, wenn nämlich durch Überfüllung der großen Gefäße diese bis zur Elastizitätsgrenze in Anspruch genommen sind. So machte ich bei einem Durchströmungsversuch (K 3), bei welchem es zu sehr reichlicher Gefäßfüllung gekommen war, folgende Beobachtung: Hebt man das Neugeborene von der Tischfläche nach oben, so steigt

der Flüssigkeitsspiegel im Einlaufzylinder; dasselbe findet statt, wenn man statt des ganzen Körpers nur den Kopf des Individuums anhebt. Eine Erhebung nur einer Extremität ändert den Flüssigkeitsspiegel nicht. Der *Inhalt der großen Gefäße fließt* also bei dieser Versuchsanordnung *in das Einlaufgefäß zurück*, entsprechend dem Versuch der kommunizierenden Röhren. Auffälligerweise senkt sich dagegen der Flüssigkeitsspiegel, wenn der Körper nur mit der rechten oder linken Seite erhoben wird, während die andere Seite auf der Unterlage verbleibt. Das Steigen des Flüssigkeitsspiegels bei Erhebung des Kopfes zeigt, daß die hierbei stattfindende Zunahme des hydrostatischen Druckes im Rumpf nicht imstande ist, die Blutgefäße im Rumpf für die Aufnahme einer neuen Flüssigkeitsmenge zugänglich zu machen. Bei Erhebung der einen Rumpfhälfte wird die andere Rumpfhälfte in gleicher Weise einem etwas erhöhten hydrostatischen Druck ausgesetzt, von dem wir also nicht annehmen können, daß er sich innerhalb des schon überdehnten Gefäßsystems auszugleichen vermag, der vielmehr ebenfalls zu einer Hebung des Flüssigkeitsspiegels im Einlaufzylinder führen müßte. Sinkt hier dagegen der Flüssigkeitsspiegel, wie es der Versuch zeigt, so kann das nur so erklärt werden, daß bei einer Änderung der hydrostatischen Druckverhältnisse zugunsten einer Seite der Bauchhöhle (der oben liegenden) Aufnahmemöglichkeiten für neue Flüssigkeitsmengen entstehen. Den Nachweis für erhöhte Aufnahmefähigkeit gewisser Gefäßgebiete bei Seitenlage des Körpers liefern weiter unten anzuführende Beobachtungen.

Der *Einfluß der Körperhaltung* auf die Verteilung einer in das Gefäßsystem hineinströmenden bzw. einer in ihm zur Ruhe gekommenen, das Gefäßsystem nicht überfüllenden Flüssigkeitsmenge wurde zunächst in Kopfstellung untersucht und die Verteilungsart mit der bei der gewöhnlichen Versuchshaltung — Rückenlage — verglichen. Wird ein Neugeborenes an den Füßen derart aufgehängt, daß kein schnürender Druck auf diese stattfindet (Festklemmen eines oder beider Füße zwischen auf die Malleolen gedrückte Nadelspitzen), so verteilt sich eine unter geringem Druck (Einströmungsniveau 4 cm oberhalb der Fußsohlen) auf dem arteriellen Wege in den Körper eingelassene und über die Capillaren zu den Venen gelangende Flüssigkeitsmenge vorwiegend auf Gehirn (einschließlich Bulbus), Thymus und Lungen; an der Haut zeigt sich eine reichliche Färbung der Kopfschwarte. Die Verteilung wird also im allgemeinen durch die Schwerkraft beeinflußt, wobei aber Gesicht, Arme und Brustwand verhältnismäßig zurückbleiben (K 11; Tafel VI, Abb. 1a, b und S. 616, Abb. 11). — Findet eine rückläufige Durchströmung des Venensystems vom rechten Herzen aus (unter geringem Druck, etwa 20 cm H_2O) statt, so können von der Vena cava sup. aus die durch Klappen verschlossenen Gebiete (V. subclavia und ihre Äste, zu denen auch die V. jugularis ext. gehört; ferner von

den Ästen der V. jugularis int. die V. lingualis, thyreoidea sup. und facialis communis; schließlich die Vv. intercostales), d. h. die Arme, das Gesicht einschließlich Zunge, die vorderen Halsorgane und die Thoraxwand, nicht erreicht werden; das *Gehirn* und der Rückenmarkskanal dagegen werden, sobald die einzige Klappe dieses Systems an der Mündung der V. jugularis int. in die V. anonyma überwunden ist — was im Versuche leicht geschieht — rückläufig durchströmt und die Durchströmung kann sich durch die Emissarien, deren Vv. diploicae sich nach außen öffnende Klappen enthalten, auf das Venengebiet der *Kopfschwarze* und des Nackens fortsetzen

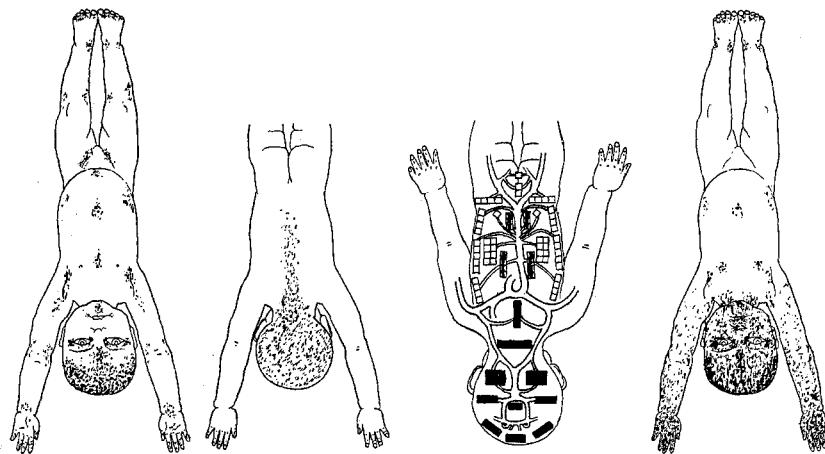


Abb. 11.

Abb. 12.

Abb. 13.

Abb. 14.

und ebenso auf dem Wege über das Emissarium condyloideum die Venenplexus an der Außenfläche der Wirbelsäule erreichen. Wir finden demgemäß eine Färbung an der Haut, die das Schädeldach, die Nackengegend und den Bereich längs der Wirbelsäule bedeckt und bei der Autopsie eine Färbung der Venen an Gehirn und Rückenmark (K 11a; vgl. Abb. 13 u. 14).

In einer anderen Versuchsanordnung wurden bei einem Neugeborenen vom rechten Herzen aus die großen Venen mit einer blauen Indig-Carmin-Gummiarabicumlösung (80 ccm) gefüllt. Nachdem die Strömung zur Ruhe gekommen und die zuführende Kanüle abgebunden ist, wird *das Neugeborene an den Füßen 100mal kräftig im Kreise herumgeschwungen*. Hierauf zeigt sich eine starke fleckige Blaufärbung des Gesichts (K 16; Abb. 14) und beider Hände, während die Füße nur an den Sohlen, Zehen und Knöchelgegenden eine geringe Blaufärbung aufweisen. Am Kopf erstreckt sich die Blaufärbung auf das Kinn, Unter- und Oberlippe, Wangen- und Augengegend und in fleckiger Ausbreitung auch auf die Ohrgegend und die gesamte Kopfschwarze bis zum Nacken; auch der Hals, der vorher nur einen kleinen Fleck aufgewiesen hatte, ist beiderseits fleckig gebläut. Bei der Autopsie erwies sich das Gewebe

unter der Kopfschwarte, das gesamte Gehirn und Rückenmark, die Schädelbasis, Zunge und Gaumen, d. h. das zur Vena jugularis interna gehörige Gebiet als frei von Blau. An den Armen waren die großen Gefäße und das unmittelbar benachbarte Gewebe tief blau, besonders kräftig fanden sich in allen ihren Teilen die Hände gefärbt. — Die *capillare Füllung* steht in diesem Falle in vollem Gegensatze zu der bei einfacher Kopfstellung; nur die Kopfschwarte zeigt in beiden Fällen Färbung, doch lehrt die nähere Untersuchung, daß die Kopfschwarte im ersten Falle von den Emissarien her versorgt worden war, während im zweiten Falle der Zustrom durch die außerhalb der Schädelhöhle liegenden Gefäße erfolgte. Wir beobachteten hier, daß ein das Gefäßsystem einigermaßen reichlich füllender, ruhender Inhalt durch die Zentrifugalkraft, die einem Zug auf alle Teilchen des flüssigen Inhalts gleichzusetzen ist, nicht zum Gehirn getrieben wird, sondern in die Weichteilbedeckungen des Kopfes und in die oberen Gliedmaßen. Diese Wirkung setzt voraus, daß bei den vorliegenden Versuchsbedingungen die Venenklappen undicht geworden sind. Da bei anderen Versuchen die Venenklappen auch unter Drucken, die erheblich über die physiologisch vor kommenden Druckverhältnisse hinausgingen, dicht zu sein pflegten, ist hier ein besonderer Mechanismus anzunehmen. Mechanisch kann der Vorgang nur so verstanden werden, daß die ständig drückende Flüssigkeitssäule schließlich zu einer so erheblichen *Erweiterung des zentral von der Klappe gelegenen Venenabschnittes* führt, daß die Klappe undicht wird; dieser Vorgang kann sich nach Füllung des Abschnitts bis zur nächsten Venenklappe und Dehnung auch dieses Abschnitts wiederholen und so von „Internodium“ zu Internodium fortschreiten. Die dem größten, zentrifugal wirkenden „Zug“ ausgesetzten Gefäßgebiete: Kopfschwarte und Hände müssen absaugend auf den Inhalt der zentralen Gefäße eingewirkt und so den Übertritt der Flüssigkeit in die Jugularis interna verhindert haben. (In entsprechender Weise wirkt bei einem U-Rohr mit kurzem und langem Schenkel, welches von einem an der Konvexität seiner Krümmung mündenden Rohr aus durchströmt und um eine senkrecht zu dem Zuflußrohr liegende Achse herumgeschleudert wird, die in der Richtung der freien Enden wirkende Zentrifugalkraft in der Weise ein, daß die Flüssigkeit um so mehr aus dem langen Schenkel entleert wird, je stärker die Zentrifugalkraft wirkt, d. h. je rascher das U-Rohr herumgeschleudert wird.) Hinsichtlich der Venen und Capillaren an der Außenseite des Schädelns kommt hinzu, daß diese sich bei stärkerem Innendruck unbehinderter entfalten können als die in der Schädelkapsel eingeschlossenen Gefäße.

Der hydrostatische Druck macht sich in der Vertikalhaltung am stärksten geltend, nicht nur weil hier der größte Höhenunterschied besteht, sondern auch weil die großen Hauptgefäße des Körpers sich in seiner Längsrichtung erstrecken. Somit ist in der *Seitenlage* des

Körpers im allgemeinen eine geringere Gesamtverschiebung des Gefäßinhalts durch den hydrostatischen Druck zu erwarten; nur in denjenigen Venen, welche bei der Seitenlage des Rumpfes vertikal stehen, vor allen Dingen also in den Venen der Niere und allenfalls, bei gespreizten Extremitäten, in denen der Gliedmaßen, kann sich die hydrostatische Wirkung in erheblicherem Maße entfalten. Wurde ein Neugeborenes mit gespreizten Armen in rechter Seitenlage suspendiert und von der Aorta aus durchströmt, so fand sich eine verstärkte Füllung in der *unten* gelegenen Hälfte des Thymus, dem nach *unten* hängenden Arm und dem *unten* gelegenen Dünndarmabschnitt (K 10, Tafel VI, Abb. 3a). Um eine durch etwaige postmortale Blutsenkung der einen Körperhälfte bedingte Begünstigung der Füllung auszuschalten, wurde der Versuch am gleichen Individuum nochmals in entgegengesetzter Körperhaltung, d. h. mit der linken Körperhälfte nach unten, ausgeführt, während eine anders gefärbte Flüssigkeit das Gefäßsystem durchströmte. Dieser Gegenversuch fiel in gleichem Sinne aus. Auch hier, wie bei dem eingangs angeführten Versuch unter Kopfstellung, verteilt sich die auf dem arteriellen Wege einströmende Flüssigkeit unter der Mitwirkung der Schwerkraft und bevorzugt hierbei bestimmte Organe. Eigenartig ist nun, daß unter denselben Versuchsbedingungen auch gewisse Organe der obenliegenden Körperhälfte eine Bevorzugung erfuhrten, und zwar die *oben*liegende Kleinhirnhälfte, die *oben*liegende Zwerchfellhälfte und die *oben*liegende Niere (K 6). Die bevorzugte Füllung dieser obenliegenden Organe trat auch ein, wenn der Druck, unter welchem die Flüssigkeit einströmte, sehr gering war (10 ccm Wasser; K 10, Tafel VI, Abb. 3b). Diese paradoxe Füllung obenliegender Organe kann bei diesen im Innern von Körperhöhlen eingeschlossenen Organen so verstanden werden, daß ihre bei der Seitenlage stattfindende Entlastung von dem auf die Oberfläche wirkenden Druck (durch die Nachbarorgane) begünstigend auf die Versorgung gewirkt hat. Da die bevorzugte Durchströmung sich aber auf bestimmte Organe beschränkt, müssen noch andere Faktoren hierbei eine Rolle spielen, wahrscheinlich eine Erweiterung der Arterien (und Capillaren) in den nach oben liegenden Körpergebieten, wie sie auch beim Lebenden festgestellt ist.

Die Durchströmungsversuche in Kopfstellung bzw. Seitenlage ergeben also eine *bevorzugte Verteilung auf bestimmte Organe*. Bezieht sich diese Bevorzugung auf untenliegende Organe, so ist die vermehrte Capillarfüllung in ihnen offenbar auf die Stauung des Veneninhalts zurückzuführen, da eine vermehrte Ansammlung von Blut in den Venen der abhängigen Teile regelmäßig eintritt, wie auch die im dritten Hauptabschnitt wiedergegebenen Versuche, welche den Füllungszustand im Röntgenbilde vor Augen führen, deutlich erkennen lassen. — Eine verhältnismäßig geringe Capillarfüllung untenliegender Organgebiete muß ihre Ursache in einer verminderten Zufuhr haben. Die

Tatsache der Verengerung von Arterien in nach abwärts liegenden Gefäßgebieten ist von *Klemensiewicz*¹ in eingehenden Untersuchungen am Frosch dargetan und wird nach *v. Recklinghausen*² auf Grund von Beobachtungen am Arm (oberflächliches Endstück der A. radialis, A. princeps pollicis) auch für den Menschen als zutreffend angenommen. Diese Forscher haben die von ihnen beobachtete Arterienverengerung der gleichzeitigen Venenerweiterung im selben Gefäßgebiet gegenübergestellt und sie für einen ausgleichenden Vorgang zur Vermeidung zu weitgehender Capillarüberfüllung erklärt. Nach unseren Versuchen findet die Arterienverengerung an den Organen einer untenliegenden Körpergegend in verschiedenem Maße statt, so daß ein Ausgleich auch zwischen den unter gleichen Bedingungen der Schwerkraft stehenden Organen stattfindet (z. B. Gehirn einerseits, Kopfschwarze und Gesicht andererseits). Wir dürfen annehmen, daß eine Capillarüberfüllung für die einzelnen Organe von sehr verschiedener Bedeutung ist, und daß sich diese gegenüber einer solchen in sehr unterschiedlichem Grade „wehren“ werden; wir dürfen auch annehmen, daß das Verhalten eines Organs ein wechselndes ist, je nach dem Grade, mit der ihm eine überreiche Blutfülle aufgedrängt wird. — Wenn in gewissen Fällen, z. B. bei Seitenlage, auch eine vermehrte Durchströmung bestimmter obenliegender Organe beobachtet wird, so entfällt für diese die Annahme, daß die Venen der Ausgangspunkt des Sonderverhaltens sind; es muß sich hier um eine vermehrte Zufuhr handeln, die sich am leichtesten durch die ebenfalls von *Klemensiewicz* am Frosch, durch *v. Recklinghausen* am Menschen festgestellte Erweiterung der Arterien in obenliegenden Organen erklärt; bei in Körperhöhlen liegenden Organen kommt die Entlastung des Organs vom Außendruck, der besonders an den Capillaren wirksam sein muß, hinzu. Die dem Einfluß der Schwere auf die Blutverteilung entgegenwirkende ausgleichende Änderung der Gefäßweite ist nach *Klemensiewicz* nicht an die Tätigkeit nervöser Zentralorgane gebunden; er sah sie in seinen Versuchen auch nach Durchschneidung der peripheren Nervenstämme zu standekommen. — Das Verhalten des Organismus beim Herumschleudern zeigt, daß auch hierbei noch kompensatorische Füllungsverschiedenheiten zwischen den zentrifugalwärts liegenden Organen bestehen; im allgemeinen finden aber in solchen Fällen, wie wiederum die Versuche des dritten Hauptabschnitts besonders einleuchtend zeigen, *derartige einseitige Blutverschiebungen* im Venensystem statt, daß eine den Lebensnotwendigkeiten der Organe entsprechende Versorgung überhaupt in Frage gestellt wird; das rechte Herz, zunächst von einer Seite her

¹ *Klemensiewicz*: Über den Einfluß der Körperhaltung auf das Verhalten des Blutstromes und der Gefäße. Sitzgsber. Akad. Wiss., Wien. Math.-naturwiss. Kl., Abt. 3, **96**, 69 (1887).

² *v. Recklinghausen*: Unblutige Blutdruckmessung. Arch. f. exper. Path. **55**, 375, 412 u. 463 (1906).

überlastet, gerät rasch in Gefahr, nicht mehr die genügende Blutmenge für nennenswerte Schlagvolumina zu erhalten, wodurch der Kreislauf in kurzem zum Stillstand gebracht werden muß. Die Wirkung ist eine um so größere, wenn es sich um eine gleichförmig beschleunigte Bewegung handelt. Eine gleichförmige geradlinige Bewegung hat nur in einem elastischen Röhrensystem Einfluß auf die Verteilung einer in ihm ruhenden oder kreisenden Flüssigkeit; *eine gleichförmig beschleunigte Bewegung* muß dagegen selbst in einem starren Röhrensystem die Durchströmungsverhältnisse einer in ihm kreisenden Flüssigkeit beeinflussen, sie *wirkt also am elastischen Röhrensystem noch wesentlich verstärkter als die gleichförmige Bewegung*. Bei dem Schleuderversuch handelt es sich nur zu Beginn um eine beschleunigte Bewegung bzw. zunehmenden Druck, bei weiteren regelmäßigen Herumschleudern aber um eine gleichförmige Bewegung bzw. gleichmäßigen Druck des Gefäßinhalts in zentrifugaler Richtung.

Der hydrostatische Außendruck.

Die Wirkungen des von außen *auf die Körperoberfläche im Wasserbad* stattfindenden Druckes beeinflussen nun ihrerseits die hydrostatisch bedingten Verhältnisse des Innendrucks in verschiedenen Gefäßgebieten und der Gefäßfüllung. „Der Wasserdruck pflanzt sich auf alle nicht im Thorax oder in den Knochenhöhlen eingeschlossenen unter Wasser befindlichen Organe ungeschwächt fort“. Dieses nach Stigler¹ „oft übersehene oder sogar bestrittene“ Grundgesetz wurde von dem Forscher in folgender Weise erhärtet. Bei einer getöteten, im Wasserbad vertikal suspendierten Katze wurde der Druck im luftgefüllten Magen bei geschlossener und hierauf bei offener Bauchhöhle manometrisch bestimmt; in beiden Fällen fanden sich dieselben Druckwerte. Stigler schließt hieraus auf die gleiche ungeschwächte Wirkung des Außendrucks auf die nicht in starre Höhlen eingeschlossenen Blutgefäße. „Die primäre mechanische Wirkung des Bades besteht in der Änderung der Weite der Blutgefäße der untergetauchten Körperteile“.

Wird ein *Neugeborenes in einem Wasserbade in Kopfstellung* gebracht und hierauf von der Aorta aus durchströmt (Einströmungsniveau eben oberhalb der suspendierten Füße), so macht sich mit zunehmender Füllung des Gefäßsystems ein kopfwärts wirkender hydrostatischer Druck geltend, dem aber der durch das Wasserbad von außen gesetzte hydrostatische Druck entgegensteht. Unter diesen Umständen können wir im allgemeinen eine bevorzugte Füllung im Sinne des eingangs angeführten Versuches bei Kopfstellung ohne Wasserbad nur insoweit erwarten, als ihr nicht durch den von außen wirkenden Druck Hindernisse bereitet werden. Wir finden in der Tat im vor-

¹ Stigler, R.: Hämostatische Untersuchungen. Abderhaldens Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden. Abt. 5, Teil 4, H. 5, S. 1287/88. 1924.

liegenden Versuch eine reichlichere Gefäßfüllung in der kranialen Körperhälfte nur in beschränkten Gebieten, nämlich im Kleinhirn, Rückenmarkskanal und in den tiefen Rückenmuskeln. Die bevorzugte Füllung der Kopfschwarte und des Großhirns, von Thymus und Lungen bleibt aber aus (K 12, 13; Tafel VI, Abb. 2). Der hydrostatische Druck von außen auf den Kopf, besonders auch die Fontanellen, sowie auf die Thoraxwand hat offenbar ein bevorzugtes Hinströmen nach der Kopfschwarte, dem Schädelinnern und den Organen der Brusthöhle verhindert. Das Füllungsbild der genannten Organe, welches im wesentlichen ja ihrer capillaren Füllung entspricht, ist kein anderes, wenn bei derselben Versuchsanordnung die Flüssigkeit an der Nabelvene eingelassen wird, wobei eine Eröffnung des Brustkorbs völlig vermieden werden kann. — Es ist anzunehmen, daß in gleicher Weise wie beim vorliegenden Versuch auch bei der *Kopfstellung des Embryo im Uterus* eine Stauung im Gehirn durch den Druck des Fruchtwassers vermieden wird; der vermehrte hydrostatische Druck im kranialen Teil des Gefäßsystems wird hierbei durch den in gleichem Maße im unteren Uterusabschnitt von außen wirkenden Flüssigkeitsdruck aufgehoben. Kurzzeitige Kontraktionen des Uterus, welche die Venen des *Embryo* entleeren, müssen gleichzeitig das Placentalblut zu den Nabelvenen hin auspressen und können somit förderlich auf den Kreislauf wirken, wenn sie auch den Widerstand in den Capillaren vorübergehend erhöhen, wie die abnehmende Zahl der Herzschläge zeigt.

Die Untersuchung der Leiche des Neugeborenen in aufrechter Körperhaltung bietet die Möglichkeit, den Einfluß, welchen der Druck einer den Körper umgebenden Flüssigkeit auf den Inhalt der Gefäße ausübt, noch in anderer Weise zu prüfen. Bei dieser Körperhaltung verteilt sich ein geringerer Anteil einer das Gefäßsystem durchströmenden Flüssigkeit in der oberen Körperhälfte, insbesondere dem Kopfe, als dies bei Rückenlage der Fall ist. Aus diesem Grunde kann ja auch die durch Hirnanämie erfolgende Ohnmacht durch einfaches Hinlegen beseitigt werden. — Enthauptet man ein Neugeborenes und läßt bei aufrechter Körperhaltung eine Flüssigkeit unter geringem Druck, z. B. von der Nabelvene hereinströmen (K 14), so verteilt sich diese auf das Gefäßsystem zunächst der Schwere folgend in gleicher Weise, als wenn das System nicht durch Durchtrennung der Halsgefäß eröffnet worden wäre; diejenige Flüssigkeitsmenge, welche bis zum Augenblick des Erscheinens an den Halsgefäßen eingetreten ist, stellt die *Normalfüllung* des Rumpfes bei dem Druck der Versuchsanordnung dar. In dieser Weise wurden zweimal je 60 ccm frisches Tierblut aus 20 cm Höhe oberhalb des Halsniveaus durch die Nabelvene eingelassen; gegen Schluß der ersten Einströmung sickerte es ein wenig aus den Halsgefäßen, der Rumpf war also für den genannten Druck als gefüllt anzusehen. Wurde nun das Glasbassin, in welchem das Neu-

geborene aufrecht hingesetzt war, mit Wasser bis zum Halsniveau gefüllt, so trat kein Inhalt aus den offenstehenden Gefäßen. Man könnte vermuten, daß durch Hinzutreten eines äußeren hydrostatischen Druckes, der dem inneren in jedem Niveau gleich ist, der innere Druck auf die Gefäßwände aufgehoben wird und die vorher gespannte elastische Wand nun in ihre Ruhelage zurückfedert, so daß die Flüssigkeit aus den offenen Gefäßen treten sollte; dies geschah aber nicht. Bei dem geringen Einströmungsdruck war offenbar die Elastizität der Venen — auf die Venen kommt es hierbei hauptsächlich an — noch nicht in nennenswertem Maße in Anspruch genommen und ein Emporheben des Gefäßinhalts durch ihre Wandelastizität kam nicht in Frage. — Werden nach der ersten Portion nochmals 60 ccm Flüssigkeit in die Nabelvene eingelassen, so erfolgt ein *gleichmäßiges Austreten an den Halsgefäß*; dies zeigt, daß das Gefäßsystem nach wie vor dem Druck entsprechend gefüllt war. Der während Einströmens der zweiten Portion gleichmäßig erfolgende Austritt von Flüssigkeit aus den Halsgefäßen konnte durch rasches Anheben des Einlaufgefäßes nur einmal zu einem geringen Strahl von einigen Millimeter Höhe gesteigert werden; wiederholtes derartiges Anheben ließ nur allenfalls ein etwas vermehrtes Abrieseln an den Halsgefäßen erkennen. — Der Versuch lehrt, daß der hydrostatische Außendruck auf ein mit Flüssigkeit gefülltes Gefäßsystem nur insoweit zu wirken vermag, als er die durch den Innendruck hervorgerufene Dehnung der Gefäße mehr oder minder rückgängig macht. Gedehnt sind im menschlichen Körper vor allem die Arterien; bei diesen ist aber der Innendruck stets erheblich höher als der hydrostatische Außendruck durch Bäder, so daß letzterer keinen nennenswerten Rückgang der Gefäßspannung hervorruft. Vom *Venen-system* wissen wir, daß der durch den strömenden Gefäßinhalt bewirkte Innendruck im allgemeinen sehr gering ist, so daß der an verschiedenen Stellen des Venensystems gemessene Druck *wesentlich durch die hydrostatischen Verhältnisse*, also die Lage des betreffenden Körperabschnitts bestimmt wird, und daß er an erhobenen Gliedmaßen gleich Null wird. Der im wesentlichen hydrostatisch bestimmte Innendruck im Venensystem muß also bei völligem Eintauchen des Körpers in Wasser (bis eben unter die Wasseroberfläche) gerade ausgeglichen werden. Unter diesen Umständen wird eine die Venen füllende Flüssigkeit beim Eintauchen des Körpers nicht aus den Venen verdrängt werden, andererseits wird aber ein Einfüßen in das Venensystem am eingetauchten Körper unter einem geringen (das Niveau des Bades nicht wesentlich übersteigenden) Druck nur in unbedeutendem Maße erfolgen können.

Wir sahen, daß der hydrostatische Außendruck sich gegenüber einem die Gefäße bereits füllenden Inhalt nur durch Rückgängigmachen der Wanddehnung Geltung verschaffen kann; im *Venen-system* findet

aber im Versuch wie beim Lebenden *unter physiologischen Verhältnissen keine Wanddehnung durch den Inhalt statt*. Die Venen können bis zum kreisförmigen Querschnitt ohne jede Spannung der Wand gefüllt werden; dies ist unter gewöhnlichen Umständen ihre äußerste Füllung (Geigel¹). Dem entspricht die Feststellung von Roy², daß die großen Volumenschwankungen, welche im Leben bei den Venen beobachtet werden, weniger von Schwankungen des venösen Blutdrucks als von solchen der venösen Blutmenge bedingt sind.

Zusammenfassung.

23. In einem elastischen Röhrensystem, wie es das Blutgefäßsystem des Menschen darstellt, verteilt sich eine *ruhende Flüssigkeit entsprechend dem hydrostatischen Druck*; nach oben liegende Gefäßgebiete entleeren sich zugunsten nach unten liegender (Venen des abgeschnürten erhobenen Armes beim Lebenden; postmortale Blutsenkung).

24. Im *durchströmten* elastischen Gefäßsystem findet in den nach unten liegenden Gefäßgebieten eine „*Stauung*“ statt, d. h. eine verhältnismäßig starke Füllung der Venen und der Capillaren und mäßige Herabsetzung der Durchströmungsziffer.

25. Nur das aufs äußerste *überfüllte Gefäßsystem* verhält sich annähernd *wie ein starres Röhrensystem*.

26. Bei *Kopfstellung* zeigen Gehirn und Kopfschwarte, Thymus und Lungen reichliche Gefäßfüllung, bei *kopfwärts gerichteter Zentrifugalwirkung* findet in Gesicht und Händen die stärkste Gefäßfüllung statt. Unter diesen letzteren Umständen ist an Gesicht und Händen auch eine rückläufige Füllung über die Venen möglich, da die Klappen bei der starken Erweiterung der Venen undicht werden.

27. Bei *Seitenhang* wird von den untergelegenen Organen bevorzugt: die untergelegene Thymushälfte, der nach unten hängende Arm und der untenliegende Dünndarmabschnitt; von den oben gelegenen Organen: die obenliegende Kleinhirnhälfte, die obenliegende Zwerchfellhälfte und die obenliegende Niere. In jenem Falle handelt es sich vorwiegend um vermehrte Blutfülle („*Stauung*“), in diesem vorwiegend um erhöhte Durchströmungsgeschwindigkeit („*arterielle Hyperämie*“).

28. Der *hydrostatische Druck von außen*, durch ein Wasserbad, läßt beim in Kopfstellung befindlichen Neugeborenen keine bevorzugte Durchströmung der unter Nummer 26 aufgeführten Organe: Kopfschwarte, Großhirn, Thymus und Lungen zu; nur Kleinhirn, Rückenmark und die tiefe Rückenmuskulatur werden auch in diesem Falle

¹ Geigel: Lehrbuch der Herzkrankheiten. S. 30 ff. 1920; zit. nach Kauffmann: Einfluß des hydrostatischen Druckes auf die Blutbewegung usw. Bethes Handbuch usw. S. 1438. 1927.

² Roy: J. of Physiol. 3, 141 (1881); zit. nach Tigerstedt: Physiologie des Kreislaufs, 2. Aufl., Bd. 3, S. 41. 1922.

bevorzugt versorgt. — Unter geringem Druck einströmende Flüssigkeit wird durch einen hydrostatischen Außendruck von annähernd gleicher Größe an dem Eintritt in die kleinsten Gefäße und die Venen gehindert; andererseits wird aber in diesen Gefäßen ruhende Flüssigkeit nicht durch einen nachträglich einsetzenden hydrostatischen Außendruck (dessen Höhe dem Druck in diesen Gefäßen gleich ist) aus den Capillaren und Venen beseitigt.

29. Ein unter mäßigem Druck gefülltes Gefäßsystem läßt, wenn es unter einen der Körperhöhe entsprechenden hydrostatischen Außendruck gebracht wird, keine Flüssigkeit an der durch Schnitt freigelegten obersten Niveaupläte, z. B. an den Halsgefäß, austreten, während jede geringste Druckerhöhung von innen (durch neu eingelassene Flüssigkeit) ein solches Überlaufen an der Niveaupläte zur Folge hat.

30. *Nur auf elastisch gedeckte Gefäße kann ein hydrostatischer Außendruck, der sich in physiologischen Grenzen hält (Wasserbad), eine verengende Wirkung ausüben; eine solche Wirkung ist am ehesten an den Capillaren zu erwarten, an den Arterien kann diese Wirkung wegen des hohen Innendrucks nur ein sehr geringes Ausmaß erreichen, an den Venen, die gewöhnlich nur entfaltet, nicht gedeckt werden, muß diese Wirkung ausbleiben.*

c) Thermische Einflüsse.

Im Abschnitt über die hydrodynamischen Umstände bei der Durchströmung wurde bereits erwähnt, daß die Verteilung der Durchströmungsflüssigkeit eine andere wird, bzw. daß bestimmte Organe benachteiligt werden, wenn das Neugeborene nicht auf Körpertemperatur (oder doch einer nur wenig unter dieser liegenden Temperatur) gehalten wird. Da die thermischen Einflüsse beim Lebenden an Geweben stattfinden, die durch das strömende Blut auf etwa 37° gehalten werden, so werden wir im folgenden im wesentlichen Einwirkungen von darüber oder darunter gelegenen Temperaturen betrachten, welche sich an dem Gefäßsystem des körperwarmen Neugeborenen auswirken. Eine Temperatur, welcher Gewebe und Gefäßsystem einige Zeit lang ausgesetzt sind, erzeugt hier einen gewissen Tonus und eine bestimmte Weite der Gefäße; hierbei wird diese Temperatur auf die Dauer zur *Bedingung* dieses stationären Zustandes, während jede neu einsetzende Abweichung hiervon im Sinne der Erwärmung oder Abkühlung einen *Reiz* darstellt, der den stationären Zustand aufhebt und Veränderungen herbeiführt, die ihrerseits wieder stationär werden, wenn die veränderte Außentemperatur nunmehr die gleiche bleibt. *Jeder auf die Dauer wirkende gleichmäßige Temperaturreiz wird schließlich zur Bedingung, und jede Änderung der gegebenen Temperaturbedingung übt einen Reiz aus.* Dies gilt nicht nur, wenn wir eine Temperatur von 37° als Mittellage, also als „Bedingung“ nehmen, sondern auch,

wenn wir z. B. von der Zimmertemperatur als Mittellage ausgehen. Eine solche Gewebstemperatur ist auch an der Haut des Lebenden, besonders an den Extremitäten, zeitweise unter physiologischen Umständen vorhanden und läßt sich beim Lebenden durch Abschnürung von Gliedmaßen auch für größere Gewebsabschnitte und tiefer liegende Organe auf einige Zeit erzeugen. Auf derartige, verhältnismäßig (z. B. auf 20°) abgekühlte Gewebe und Gefäße wirkt, wenn dieser Zustand einige Zeit bestanden hat, jede etwas höhere Temperatur, also auch die normale Bluttemperatur, als Reiz und verändert ihren Zustand, insbesondere Tonus. Gefäße und Gewebe gelangen also unter gleichbleibenden Bedingungen der Temperatur, welche sich von innen (Durchströmungsflüssigkeit) und von außen (umgebendes Medium) geltend macht, hinsichtlich ihres Tonus in einen Gleichgewichtszustand, welcher bei jeder Änderung der Bedingungen aufgehoben wird und einem neuen Gleichgewichtszustand zustrebt.

Vorangehend sollen die *Extremitäten* besprochen werden, weil bei diesen das an der Haut zu beobachtende verschiedene Verhalten der Vergleichsglieder mit dem Verhalten ihrer Tiefengefäße in unmittelbarstem Zusammenhange steht, und weil hier auch Beobachtungen an frisch amputierten Extremitäten Erwachsener herangezogen werden konnten. Im Anschluß daran werden die thermischen Wirkungen am *Kopf* und am *Rumpf* näher betrachtet werden. Zum Schluß wird ein zusammenfassender Überblick über die Wirkungen an der *Haut* gegeben. Da diese nicht nur nach der Beendigung des Versuchs bei der Sektion, sondern während der ganzen Versuchsdauer beobachtet werden kann, können wir an ihr den Unterschied zwischen der ersten Augenblicksreaktion und der nachfolgenden Hauptreaktion feststellen, bei Durchströmung mit aufeinanderfolgenden verschiedenfarbigen Portionen den Farbwandel sich abspielen sehen, der unter veränderten Temperatureinwirkungen stattfindet; unter bestimmten Bedingungen findet ein ganzes Wechselspiel von Färbungen statt, besonders wenn man dem einen Temperaturreiz, z. B. einer stärkeren Erwärmung, einen entgegengesetzten, z. B. eine Abkühlung, folgen läßt.

Extremitäten: Versuche am Neugeborenen — Versuch K 6: Linker Arm und linker Unterschenkel des Neugeborenen liegen im Wasserbad von 39°; nachdem sie hier 12 Minuten lang erwärmt sind, werden bei 65 cm Wasserdruck nach einem Vorlauf von 250 ccm Gummiarabicumlösung 60 ccm defibriniertes Tierblut und zuletzt 10 ccm Methylenblau-Gummiarabicumlösung in die Aorta eingelassen, sämtliche Flüssigkeiten bei Zimmertemperatur, der Temperatur des Neugeborenen entsprechend. An der Haut der Extremitäten erfolgt Blaufärbung im wesentlichen nur links, und zwar hauptsächlich am linken Unterschenkel. Bei der Sektion zeigen sich beide Iliaceae und Femorales bis zu den Popliteae blau gefärbt, nicht aber die Muskulatur der Oberschenkel. Die Unter-

schenkel und Unterarme zeigen rechts und links ein völlig gegensätzliches Verhalten. Auf dem Querschnitt ist die Muskulatur links gequollen, sie sieht etwas heller und im Verhältnis zu rechts blasser aus; letzteres ist auch am Knochen der Fall. Die größeren Gefäße und das Muskelzwischengewebe sind auf dem Querschnitt reichlich blau gefärbt, ebenso ausgedehnte Abschnitte des Unterhautfettgewebes. Am Fußrücken ist die Muskulatur auf dem Querschnitt ebenfalls kräftig blau gefärbt, an der Fußsohle ist dies in etwas geringerem Maße der Fall. Im Gegensatz zu diesem linksseitigen Befunde zeigen die distalen Extremitätenabschnitte der rechten Seite auf den Querschnitten weder an Hand und Fuß noch weiter proximalwärts irgendwelche Bläuung, vielmehr in normaler Weise rötlich gefärbte Muskulatur und Austritt kleiner Blutpunkte auch bei wiederholtem Abtupfen. Die Haut der Extremitäten war rasch nach der Blauinjektion wieder an allen Teilen farblos geworden, nur *am linken Unterschenkel* verblieben *am äußeren Knöchel dauernd einige blaue Flecke*. — Zu ähnlichen Resultaten führten die Versuche K 7 (rechter Arm und Unterschenkel $\frac{3}{4}$ Stunden in Wasser von 39° , Vorlauf von 180 ccm Gummiarabicumlösung und Einfüllen von 8 ccm blauer Gummiarabicumlösung), — K 8 (rechter Arm und rechtes Bein 1 Stunde in Wasser von 37° ; Vorlauf von 150 ccm Gummiarabicumlösung, Einfüllen von 50 ccm blauer Gummiarabicumlösung) und K 9 b (linke Körperhälfte 5 Minuten in Wasser von 40° ; Vorlauf von 150 ccm Gummiarabicumlösung, Einfüllen von 8 ccm blauer Gummiarabicumlösung). Die Versuche wurden stets in der Weise ausgeführt, daß die betreffenden Extremitäten der Warmwasserwirkung während der Durchströmungen noch ausgesetzt waren. Sie zeigen zweifellos, daß eine *Durchströmungsflüssigkeit der durchwärmten Extremität leichter zuströmt*. — Die im Versuch 9 b (bei kurzem Eintauchen einer Körperhälfte in Wasser von 40°) blau aussehenden unteren Extremitäten blaßten, nachdem die Durchströmungsflüssigkeit zur Ruhe gekommen und das Kind aus dem Wasser einige Zeit entfernt worden war, bei nochmaligem Einbringen in Wasser von 40° rasch ab (vgl. Versuch K 32); sie zeigten weiterhin unter Einwirkung dieser Temperatur ein örtliches *Wechselspiel von Färbung und Entfärbung* mit Auftreten einiger hämorhagieähnlicher Fleckchen, schließlich stellte sich die Hautfarbe auf ein mattes Rosa ein. Es sind also im Verhalten gegenüber einem Wärme- reiz zwei Vorgänge streng zu trennen: einmal das Verhalten der Capillaren, wenn die erwärmte Extremität durchströmt wird — hierbei findet eine allgemeine Erweiterung der Capillaren statt, wodurch für eine vermehrte Durchströmung und also für eine vermehrte Zufuhr von seiten der Arterien Gelegenheit geschaffen wird, und zweitens die Erscheinungen, welche auftreten, wenn eine Extremität, in welcher der Gefäßinhalt in den Capillaren bereits zur Ruhe gekommen ist, Temperaturreizen ausgesetzt wird, — hierbei findet ein deutlich

sichtbares Wechselspiel von Zusammenziehung und Erschlaffung statt, welches, wie ich an weiteren Versuchen dartun werde, entweder mit einer Dauerkontraktion oder mit einer Dauererschlaffung enden kann. Bei ruhender, die Hautcapillaren füllender Flüssigkeit kann der Wärme-reiz unter Umständen ein stärkeres Hervortreten der Färbung dadurch hervorrufen, daß der Farbstoff durch Steigerung des Transsudations-vorganges das Gewebe durchtränkt; dies ist nur bei transsudations-fähigen gelösten Farbstoffen, wie z. B. einer Methylenblaulösung mög-lich und tritt auch hier bei nicht zu schwach kolloidaler Lösung, z. B. bei 5%iger Gummiarabicumlösung, nur langsam ein; diese Blau-durchtränkung läßt sich von der vermehrten Capillarfüllung leicht dadurch unterscheiden, daß sie auf Fingerdruck nicht abblaßt.

Werden die Extremitäten nach der Durchströmung zwecks näherer Untersuchung vom Rumpfe hoch abgetrennt, so findet, dem Druck innerhalb des Gefäßsystems bzw. der Schwerkraft entsprechend, ein *Nach-fließen* aus den größeren Gefäßen an der proximalen Schnittfläche, im wesentlichen ein Rückfließen aus den großen Venen statt. Durch dieses Nachfließen kann natürlich eine nachträgliche Überfärbung dieser Schnittfläche von außen her eintreten; derartige Färbungen lassen sich aber als grobe Rinnale von der kurze Zeit nach der Durch-trennung an der proximalen wie an der distalen Schnittfläche in Flecken auftretenden und bald homogen werdenden „*Nachfärbung*“ stets deutlich unterscheiden. Da die großen Gefäße des abgetrennten Gliedes nur eine mäßige Flüssigkeitsmenge enthalten, die nach der Durchtrennung nicht im wesentlichen Maße abfließt, so ist die Betrach-tung der distalen Schnittfläche zur Beurteilung des Füllungszustandes vorzuziehen.

Ein solches Rückfließen von Durchströmungsflüssigkeit bzw. Blut von den großen Venen des Rumpfes her und *Abfließen aus den durch-trennten Hauptgefäßen* eines nahe am Rumpfe liegenden Amputations-schnitts kann auch *lange Zeit, nachdem* dieser *Schnitt gelegt* ist, neu einsetzen; ich machte hierüber gelegentlich eines Versuches, bei welchem zunächst nur die beiden unteren Extremitäten vergleichend durchströmt wurden, während die Durchströmung des Kopfes erst am nächsten Tage ausgeführt wurde, folgende Beobachtung (*Versuch K 30*): In die linke Iliaca externa wurden 20 ccm einer ungefärbten 5%igen Gummilösung und hierauf 4 ccm einer gleichen mit Methylen-blau gefärbten Gummilösung bei 50 ccm Wasserdruck eingelassen, während von der rechten Iliaca externa aus eine Durchströmung unter gleichen Bedingungen stattfand, bei welcher jedoch dem Vor-lauf wie der Testflüssigkeit Suprarenin 1 : 10 000 zugesetzt war. Auf das nähere Ergebnis dieses Versuches soll weiter unten bei den Suprareninversuchen eingegangen werden. Die unteren Extremitäten wurden nahe am Rumpfe abgetrennt und Rumpf nebst Kopf bis zum

nächsten Tage aufbewahrt. Am folgenden Tage wurde das Präparat $\frac{1}{2}$ Stunde in ein Wasserbad von 39° bei 15 cm Wasserhöhe getaucht. Nach dem Herausnehmen wurde im bis dahin geschlossenen Brustkorb eine Temperatur von 31° gemessen. Während nun das Neugeborene wie am Tage vorher in horizontaler Rückenlage bei nur wenig durch eine Gazerolle emporgehobener Lendenwirbelsäule lag, trat eine reichliche „Nachblutung“ an der Schnittfläche des linken Oberschenkels und zwar auch besonders an der Epiphysenfläche ein, während die rechte Schnittfläche blaß blieb und es hier nicht „nachblutete“. An der linken Schnittfläche tritt das Blut im wesentlichen hinten und innen aus der Muskulatur, die hier nicht blau gefärbt ist, nicht aber vorn und außen aus der blaugefärbten Muskulatur. Das Blut quillt vorn nur an den größeren Gefäßen. Bei zahlreichen anderen Versuchen, bei denen der Rumpf einige Zeit nach Abtrennung von Extremitäten in dieser oder jener Weise gelagert oder bewegt wurde, konnte ein ähnliches „Nachbluten“ in keinem Falle beobachtet werden, zumal wenn diese Lageveränderungen erst am nächsten Tage ausgeführt wurden; auch war von einer solchen „Nachblutung“ keine Rede, als das Neugeborene am zweiten Tage aufgehoben und bewegt wurde, ehe es ins warme Wasserbad gelegt wurde. *Das warme Wasserbad muß zweifellos als die Ursache der „Nachblutung“ angesehen werden*, womit natürlich nicht gesagt sein soll, daß ein gewisser positiver Druck im Gefäßsystem bzw. die Schwerkraft nicht ebenfalls eine Rolle spielten. Daß die Auflösung von etwaigen Gerinnnseln durch das Wasser nicht der entscheidende Faktor sein kann, zeigt folgende Beobachtung (*Versuch K 41*): Bei einem livid verfärbten Kinde, das geatmet hatte, drang, nachdem es 5 Stunden 40 Minuten in einem Wasserbad von 39° gelegen und eine Mastdarmtemperatur von $37,2^{\circ}$ erlangt hatte, nach Durchtrennung der Nabelschnur bei Rückenlage eine beträchtliche Menge (über 100 cem) dunkles Blut aus der Nabelvene. Ein derartiger reichlicher Blutaustritt an der Nabelvene wurde bei stark plethorischen Neugeborenen (Steißgebürtigen), bei denen die Nabelschnur ebenfalls im Wasserbad aber ohne vorherige Erwärmung des Kindes durchtrennt worden war, in keinem Falle beobachtet. Die eigentliche Vorbedingung für das „Nachbluten“ kann nur durch die Erweiterung der Gefäße durch die Wärme gegeben worden sein; dies ist bei obigem Extremitätenversuch auch deshalb anzunehmen, weil die Nachblutung auf der Vergleichsseite, offenbar durch die Verengerung der Gefäße, durch das Suprarenin ausblieb. [Vgl. hierzu die Volksanschauung vom Wiederbluten der Wunde des Ermordeten in Gegenwart des Mörders (Wärme-wirkung durch Kerzenlicht u. a.).]

Versuche an amputierten Gliedmaßen Erwachsener: Hat die erste Reihe thermischer Versuche, die sich auf mit dem Rumpf in Zusammenhang befindliche Extremitäten bzw. auf eine gesamte Körperhälfte

erstreckte, gezeigt, daß der erwärmten Extremität die Durchströmungsflüssigkeit in stärkerem Maße zufließt, so läßt sich an amputierten Gliedmaßen Erwachsener zeigen, daß auch *Teilabschnitte einer überlebenden Extremität unter dem Einfluß von Wärme reichlicher injiziert werden* als ihre Nachbargebiete. Wird an einer solchen zimmerwarmen, mit nicht diffundierender, gefärbter Flüssigkeit durchströmten Extremität (Versuch B 1, 2) ein Hautgebiet mit warmem Wasser von 30—37° berieselt, so hebt sich das berieselte Gebiet durch kräftige Färbung von seiner Umgebung ab und Fingereindrücke in diesem Bereich bewirken ein Abbllassen, das sich nach $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ Minute wieder ausgleicht. In gleicher Weise wird eine stärkere Füllung der Hautcapillaren auch erzielt, wenn die Berieselung stattgefunden hat unmittelbar bevor die Durchströmung eintritt. Wird dagegen unter stärkerem Druck von vornherein eine kräftigere Füllung des Gefäßsystems, z. B. mit verdünntem Tierblut vorgenommen, so daß die Haut infolge der Durchströmung allenthalben gerötet ist, und wird, nachdem die Strömung zur Ruhe gekommen ist, die gerötete Haut nachträglich mit warmem Wasser bespült, so blaßt sie bereits bei einer Temperatur des bespülenden Wassers von 30° ziemlich rasch ab; wählt man etwas höhere Temperaturen (bis 40°) zur Bespülung, so ist das primäre Abbllassen noch ausgeprägter, doch gleicht sich auch hier die Färbung nach etwas längerer Zeit der der übrigen Haut wieder etwas an; nur die Gegend, in welcher das Wasser unmittelbar auf die Haut auffällt, bleibt dauernd anämisch. Eine andere, mit Wasser von 10° bespülte Stelle der geröteten Haut nimmt eine deutlich livide Färbung an. Die stärker gefüllten Capillaren neigen offenbar zunächst zur Kontraktionsphase und *der mäßig starke Reiz fördert den Eintritt der im betreffenden Augenblick vorhandenen Phase*. Stärkerer Reiz bewirkt dagegen einen Krampf, der von längerer Dauer ist. Die livide Färbung entsteht durch Capillarkontraktion unter gleichzeitiger Lähmung des subpapillären Venenplexus. Führt man einen Hautschnitt durch das blasse und durch das benachbarte, von injiziertem Blut rötlich gefärbte Gebiet, so sieht man, daß sich die Anämie auch auf das Unterhautfettgewebe erstreckt; bald treten aber auch im anämischen Gebiet kleine Blutpunkte auf und eine feine rote Netzzeichnung (Versuch B 1), welche die Fetträubchen umgibt. Die kräftigere Gefäßkontraktion (Dauerspasmus) durch Einwirkung einer höheren Temperatur tritt sowohl, wenn die Hautstelle zunächst erwärmt und dann durchströmt wird, als auch wenn beide Vorgänge gleichzeitig stattfinden, ein. Der Vorgang läßt sich ebenso wie durch Berieselung mit heißem Wasser auch durch kräftige Einwirkung mit dem heißen Föhn leicht darstellen.

Bei der Deutung derartiger Versuche muß man stets im Auge behalten, daß bei einer Reizwirkung durch Wärme verschiedene, zum Teil gleichsinnig, zum Teil gegensätzlich wirkende Umstände eine Rolle

spielen. Ist der *Temperaturunterschied* zwischen dem die Wärme übertragenden Medium und dem Gewebe kein erheblicher, so ist das Wärmegefälle vom Medium zum Gewebe ein entsprechend geringes und der Übergang ein entsprechend langsamer. Ist die *spezifische Wärme* des mit dem Körper in Berührung kommenden Mediums eine hohe (bei gasförmigem Medium ist sie wesentlich höher als bei flüssigem), so wird sich nahe der Hautoberfläche eine Grenzschicht bilden, welche den Wärmeübergang sehr verlangsamt. Das Körpergewebe selbst besitzt eine sehr erhebliche spezifische Wärme; sie beträgt, nach eigenen Versuchen an den Extremitäten von Neugeborenen, im Verhältnis zu der des Wassers das 0,635fache (die des Blutes 0,89). Praktisch wird allerdings bei gasförmigen und flüssigen Medien die den Wärmeüberzug verzögernde Grenzschicht durch die *Konvektionsströme* ständig wieder beseitigt. Man kann diesen Vorgang der ständigen Erneuerung der Grenzschicht dadurch erheblich fördern, daß man das umgebende Medium in ständiger Bewegung erhält. Nur wenn dies ständig der Fall ist, kann von einer dauernden Einwirkung der Temperatur des Mediums auf die Körpertemperatur die Rede sein. Eine solche ständige Erneuerung des Mediums an der Körperoberfläche findet natürlich in den Fällen statt, in welchen ein *Wasser- oder Luftstrahl* die Körperoberfläche trifft; die abweichende Reaktion, welche die Capillaren hierbei im Verhältnis zu denjenigen Fällen zeigen, bei welchen dasselbe Medium mit der selben Temperatur nur in einfache Berührung mit der Hautoberfläche kam, erklärt sich im wesentlichen durch den verstärkten Calorienübergang an der Stelle, an welcher der Strahl auftrifft. Die Stoßwirkung hat hieran nur einen unbedeutenden Anteil.

Tritt bei Durchströmung mit wässriger Methylenblaulösung im erwärmten Gewebsabschnitt eine Verstärkung der Färbung nicht nur durch vermehrte Capillarfüllung, sondern auch durch *Imbibition* des Gewebes ein, so erfolgt diese im Verhältnis zu der raschen Füllung der Capillaren nur ziemlich langsam. Die Gewebsdurchtränkung kann zu zunächst widerspruchsvoll erscheinenden Beobachtungsergebnissen führen. So wurde an einem frisch amputierten, auf Zimmertemperatur abgekühlten Unterschenkel (Versuch B 4), bei welchem die große Zehe mit Wasser von 50° berieselte wurde, bei der Durchströmung mit einer zimmerwarmen wässrigen Methylenblaulösung von der Antika aus eine Blaufärbung nur an der 2.—5. Zehe beobachtet, die Großzehe blieb blaß; nach Unterbrechung der Durchströmung schwand diese Blaufärbung, dem gewöhnlichen Verhalten entsprechend. Nunmehr wurde die Durchströmung wieder aufgenommen, diesmal mit ungefärbter NaCl-Lösung, welche die noch in den Arterien vorhandene blaue Lösung vor sich her schob; zugleich wurden sämtliche Zehen mit Wasser von 50°, also in derselben Weise wie anfangs die Großzehe bespült; hierbei färbte sich das bespülte Gebiet in scharfer Abgrenzung stark blau, während

an dem nichtbespülten keine Umfärbungen zutage traten. Die große Zehe blieb abweichend von den anderen Zehen weiterhin ungefärbt. Die Blaufärbung konnte durch Bespülen mit kaltem Wasser und durch Fingerdruck nicht wesentlich zum Rückgang gebracht werden. In dem mit Wasser von 50° bespülten Gebiet hob sich im Laufe einiger Minuten die oberste Epithelschicht etwas ab und wurde auf den tieferen Epithelschichten etwas verschieblich wie bei einer Verbrennung zweiten Grades. Zieht man diese oberste Hautschicht ab, so ist sie blau gefärbt, und das darunterliegende Epithel ist blasser blau gefärbt. Hierdurch ist das Vorhandensein einer Imbibition zweifellos erwiesen und die *von außen einwirkende Hitze als fördernder Faktor für den Durchtränkungsvorgang* dargetan. Daß die unter dem Einfluß der Hitze hervorgetretene Blaufärbung andererseits nicht nur auf Imbibition beruhte, ließ sich durch eine Adrenalin einspritzung in diesem Gebiet dartun, welche rasch einen talergroßen blasseren Fleck erzeugte. Der beschriebene Versuch läßt erkennen, daß auch bei Wärme-graden, welche eine oberflächliche Verbrennung zur Folge haben, *die selbe Art der äußeren Wärmezufuhr gegensätzliche Wirkungen auslöst, wenn einmal annähernd leere und ein anderes Mal durchströmte Capillaren von ihr betroffen wurden*; erfolgt durch die Stärke des Wärmereizes im ersten Falle eine Zusammenziehung, durch welche diese Capillaren für längere Zeit für jede Durchströmung unzugänglich bleiben, so erfolgt im zweiten Falle keine Kontraktion, vielmehr von der die Capillaren durchströmenden Flüssigkeit her eine verstärkte Durchtränkung des Gewebes. Da in dem unter der Erwärmung gebläuteten Gebiet ein Teil der Blaufärbung unter Adrenalin einspritzung schwindet und da im nichterwärmten Gebiet überhaupt keine Blaufärbung aufgetreten war, so handelt es sich im zweiten Falle außerdem noch um eine Erweiterung bzw. vermehrte Füllung der Capillaren. Derselbe Wärmereiz — Einwirkung von 50° heißem Wasser — löst also einmal Kontraktion aus und verhindert die capillare Durchströmung, ein anderes Mal führt er zu vermehrter Durchströmung und zu Transsudation. Wärmereize, welche der physiologischen Bluttemperatur entsprechen, lösen am abgekühlten Glied im allgemeinen Gefäßweiterung aus, es sei denn, daß die Gefäße bereits mechanisch erheblich gedehnt sind (s. oben S. 188). Am Fußrücken eines mit Blaulösung durchströmten und wieder abgeblaßten Unterschenkels zeigt sich nicht selten beim Bespülen mit kaltem Wasser eine längliche Maschenzeichnung von schwacher Blaufärbung, die dem subpapillären Plexus entspricht (vgl. S. 629). Bespült man nun einen Teil des derartig gezeichneten Fußrückens mit warmem Wasser von 50°, so schwindet die Maschenzeichnung in dem warm bespülten Gebiet, während sie im übrigen Gebiet bestehen bleibt. Der subpapilläre venöse Plexus wird also, wenn die Durchströmungsflüssigkeit zum Stillstand gekommen ist, bei Abkühlung der

Hautoberfläche stärker gefüllt, bei kräftiger Wärmeeinwirkung auf die Hautoberfläche entleert.

Die Versuche über das Verhalten der Gefäße an den Extremitäten gegenüber von außen wirkenden Temperatureinflüssen lassen hiernach erkennen, daß auch an den überlebenden menschlichen Gliedmaßen, also unter Ausschaltung des Nervensystems, Temperaturen, welche wenig über der physiologischen Körpertemperatur liegen zu einer *Erweiterung* der kleinen Gefäße und verstärkten Durchströmung führen, während Temperaturgrade, die vom Lebenden als heiß empfunden werden, eine primäre *Zusammenziehung* der kleinen Gefäße auslösen. Dieselbe Calorienzufuhr aber, welche an sich die Capillarwände zur Kontraktion bringen würde, löst sogar eine *Erweiterung* der Capillaren und vermehrte *Transsudation* aus, wenn eine die Capillaren durchströmende Flüssigkeit, welche die gleiche Temperatur wie das sie umgebende Ge- webe besitzt, gegenüber der Erwärmung als Kühlstrom wirkt.

Versuche am Neugeborenen bei geänderten Temperaturen der Durchströmungsflüssigkeit: Will man auf die Gefäßwände bestimmte Temperaturen unmittelbar einwirken lassen, so kann dies mittels Durchströmung der Gefäße mit Flüssigkeiten von verschiedener Temperatur geschehen. Es handelt sich hierbei also um eine Erwärmung der Gefäßwände und Gewebe vom Körperinnern her, wie dies an sich bei der Wärme- verteilung im Körper des Lebenden geschieht. Wird im Versuch das körperwarne Neugeborene mit körperwarmer Flüssigkeit durchströmt, so können wir keine Reizwirkung gegenüber den Gefäßwänden erwarten, ebensowenig wie am Lebenden, weil hier der Temperaturunterschied zwischen dem Blut und der erwärmten Gefäßwand nur ein sehr geringer ist. Es wurde schon in dem Kapitel über die allgemeine Technik erwähnt, daß auch die Durchströmung eines körperwarmen Neugeborenen mit einer Flüssigkeit von Zimmertemperatur (20°) keine erheblich anderen Ergebnisse hinsichtlich der Verteilung liefert, als die Durchströmung mit körperwarmer Flüssigkeit. Wählt man aber eine *Durchströmungsflüssigkeit von einer Temperatur, welche erheblich über der Körpertemperatur oder erheblich unter Zimmertemperatur liegt*, so kann man sehr deutlich *Reizwirkungen* dieser von innen wirkenden abweichenden Temperaturen und entsprechende Änderungen im Verhalten der Gefäße beobachten. Ähnliche abweichende Temperaturen des strömenden Gefäß- inhalts können beim Lebenden nur ganz vorübergehend auftreten, wenn z. B. eine abgeschnürte bluthaltige Extremität längere Zeit ausgiebig erwärmt oder abgekühlt wurde. — Wird bei einem auf Körpertemperatur gebrachten überlebenden Neugeborenen (*Versuch K 42a*, Tafel VII, Abb. 4a—c) aus einer Bürette (zur genauen Ablesung der Menge) eine auf 45° erwärmte (mittels eines weiten U-Rohres, vgl. Technik), blaué Gummiarabicumlösung in geringer Menge (5 ccm) bei einem Wasserdruck von 62,5—63 cm Höhe in die Iliaca externa hineingeschickt, so wird die Haut

rasch bis zum Fuß hin mit kleinen kleeblattähnlichen Flecken (je bis zu fünf Blättchen) dicht bedeckt. Auf Schnitten zeigen sich die Muskulatur, die Gelenkkapseln und das Bindegewebe reichlich gefärbt, frei sind nur Knochen und Epiphysen. Die Fußsohle ist homogen blau gefärbt, ebenso sind dies die Weichteile des Fußes auf dem Querschnitt. Eine derartig weitgehende Verteilung der gefärbten Gummiarabicumlösung wird bei Durchströmung mit körperwarmer Gummiarabicumlösung nicht beobachtet, zumal wenn nur 5 ccm hindurchgeströmt sind. Im schlagenden Gegensatz hierzu steht nun die Verteilungsart, wenn man in das andere Bein desselben Individuums bei demselben Druck eine auf $11,5^{\circ}$ abgekühlte blaue Gummiarabicumlösung in gleicher Menge einströmen läßt. Während die 5 ccm der erwärmten Lösung erst in 30 Sekunden eingeflossen waren, ist dieselbe Menge der kalten Lösung bereits in 22 Sekunden in das Gefäßsystem eingetreten. Die Haut wird zwar auch bis zum Fuß hin gefleckt, es treten aber nur eine geringe Anzahl kleiner Flecken auf und die ganze Schienbeinregion bleibt größtenteils frei; die Zehen werden nur teilweise von der Farblösung erreicht. Querschnitte zeigen allenthalben die Füllung auf die etwas größeren Gefäße in der Muskulatur beschränkt. Knochenmark und Epiphysen sind frei wie im Vergleichsglied. Es wurde also bei einer Durchströmung mit einer Gummiarabicumlösung von 45° eine verlängerte Einströmungszeit, zugleich aber eine bevorzugte Verteilung auf die kleinen Gefäße beobachtet, bei einer Durchströmung mit Gummiarabicumlösung von $11,5^{\circ}$ eine verkürzte Einströmungsdauer mit geringerer Füllung der kleinen Gefäße. Die verlängerte Einströmungszeit bei höherer Temperatur ist ein Beweis dafür, daß der Gesamtwiderstand des Gefäßsystems der Extremität erhöht worden ist; der innere Widerstand der Flüssigkeit kann ja entsprechend der Herabsetzung der Viscosität nur verringert worden sein. Die reichlichere Füllung im Gebiet der Capillaren und kleinen Gefäße zeigt, daß diese Gefäße weiter waren und in größerer Zahl der Durchströmung zugänglich. Wenn der Gesamtwiderstand trotzdem größer wurde, muß dies auf eine Verengerung der Hauptgefäß und größeren Gefäße zurückzuführen sein. *Die warme Durchströmungsflüssigkeit muß demnach auf die zentralen Gefäße die entgegengesetzte Wirkung ausüben wie auf die peripheren*, da mit einer wesentlichen Temperaturveränderung der Flüssigkeit auf dem Wege vom Hauptgefäß zu den Capillaren nicht zu rechnen ist. — Ziehen sich die zentralen Gefäße zusammen, so wird unter denselben Verhältnissen des Druckes die Strömung in dem kontrahierten Gebiet beschleunigt; die Flüssigkeit erhält also eine größere Propulsionskraft, in gleicher Weise wie wir dies an der Düse eines zum Wassersprengen im Garten benutzten Schlauches beobachten. Andererseits wird durch den erhöhten Widerstand die in der Zeiteinheit durch den verengten Abschnitt strömende Flüssigkeitsmenge vermindert, es bedarf also, wie im Falle unseres Versuchs, einer

längerer Zeit, bis die gleiche Menge hindurchgeströmt ist. Wenn in dem vorliegenden Falle einer Durchströmung mit einer Flüssigkeit von 45° C trotz der Verbreiterung der peripheren Strombahn ein erhöhter Gesamtwiderstand beobachtet wurde, so muß die Widerstandszunahme durch die Kontraktion der großen Gefäße eine ungewöhnlich große gewesen sein. Wir werden weiterhin sehen, daß bei Durchströmungsversuchen unter Wärmeeinwirkungen am Gefäß, die den Verhältnissen der Wärmehyperämie am Lebenden näherstehen, zwar auch eine Verengerung zentraler und eine Erweiterung peripherer Gefäße beobachtet wird, daß aber in solchen Fällen die gesamte Durchströmungsmenge in der Zeiteinheit vermehrt wird, daß also eine Herabsetzung des Gesamtwiderstandes stattfindet, *weil die Herabsetzung des Widerstandes in den kleinen Gefäßen der ausschlaggebende Faktor wird.*

Gleichartige Durchströmungsversuche *an den Armen* haben nur dann daselbe Ergebnis wie die entsprechenden Versuche an den unteren Extremitäten, wenn keine Abflußmöglichkeiten nach dem Kopf (A. vertebralis) und nach dem Brustkorb hin gegeben sind (Unterbindung dieser Seitenäste der Subclavia oder Durchströmung von der Axillaris aus (*Versuch K 42b*)); sind solche Abflußmöglichkeiten vorhanden, so führt die Zusammenziehung in den großen Armgefäßen zu einem verstärkten Abfluß nach jenen Gebieten, weil in diesem Falle das Hauptrohr auch in seinem distal von diesen Seitenästen liegenden Abschnitte verengt wird und *weil' der Gesamtwiderstand auf den kürzeren Kreisläufen geringer ist.*

Kopf: Entsprechende Beobachtungen wie bei der Durchströmung erwärmter Gliedmaßen ließen sich bei Wärmeeinwirkung auf den Kopf oder Teile desselben machen. Hier haben diese Beobachtungen noch ein besonderes Interesse dadurch, daß bei *Erwärmung des Kopfes von außen auch Einflüsse auf die Gefäße im Schädelinnern festgestellt werden können.*

Bei einem Neugeborenen (*Versuch K 8*), dessen Organe ziemlich blutreich waren und dessen Haut ein livides Aussehen hatte, wurden von der Aorta aus nach einem Vorlauf von 150 ccm Gummiarabicumlösung bei 40 cm Wasserdruck (5 Minuten) 50 ccm einer Methylenblau-Gummiarabicumlösung innerhalb von zwei Minuten beim gleichen Wasserdruck nachgeschickt. Während dieser Zeit wurde die Gegend vor dem rechten Ohr dreimal je eine Minute mit Wasser von 37° bespült; das Neugeborene hatte eine Temperatur von 20° auf der Haut wie im Körperinnern. Es trat eine Blaufärbung in den oberen Abschnitten der Gesichtshälften beiderseits und in der vorderen Mundhöhle ein, in der unteren Gesichtshälfte wurde nur der *rechte* Mundwinkel blau gefärbt. Kopfschwarze und Hals sowie die Oberfläche des Rumpfes blieben frei von Blaufärbung. Bei der Sektion zeigte sich am Schädel die rechte Scheitel- und Stirnbeinregion blau gefärbt, ebenso die rechte untere Stirnwand und die Schleimhaut am harten Gaumen rechts; die linke Hirnhälfte und das Kleinhirn waren ungefärbt geblieben. In einem anderen Falle (*Versuch K 9a*, Tafel VII, Abb. 2, Durchströmung von der Nabelvene aus) wurde beim Eintauchen der linken Körperhälfte auf 5 Minuten in ein Wasserbad von 40° eine bevorzugte Versorgung von Organen der erwärmten Körperhälfte erzielt. Am Kopf trat hier nach Zurückschlagen der Kopfschwarze

vor dem linken Ohr die blau gefüllte Arteria temporalis superficialis deutlich neben ihrer etwas breiteren, schieferig gefärbten Vene hervor. Auch hier war die gegenüberliegende Seite des Kopfes annähernd frei von Blaufüllung.

Durch die angeführten Versuche ist dargetan, daß auch am Kopfe *dem erwärmten Körpergebiet ein vermehrter Anteil der gesamten Durchströmungsmenge zufließt*, und daß dies auch für das Schädelinnere gilt. Findet die Erwärmung erst nachträglich statt, nachdem der strömende Inhalt zur Ruhe gekommen ist, so ist im allgemeinen keine nachträgliche Inhaltsverschiebung im Sinne einer verschiedenen seitlichen Massenverteilung zu beobachten, wie auch zu erwarten steht (vgl. Versuch K 15, 12). Andererseits sieht man, daß bei einem im Wasserbad von 38,6° schwimmenden (Gasauftriebung der Eingeweide) Neugeborenen nach kurzer Zeit eine erhebliche Verschiebung des im Venensystem enthaltenen Blutes nach den tiefer hängenden Teilen, Kopf und Armen, einsetzt (Versuch K 31).— Um festzustellen, ob bei unveränderter Körperhaltung eine im Gefäßsystem ruhende Flüssigkeit durch nachträgliche Erwärmung eines Körperabschnitts zum Weiterströmen veranlaßt werden könnte, wurde bei einem nichterwärmten Neugeborenen (Versuch K 11b) eine kleine Menge (10 ccm) einer Methylenblau-Gummiarabicumlösung durch eine größere Menge (80 ccm) defibrinierten Tierbluts unter geringem Injektionsdruck (20 ccm Wasser) soweit vorwärts geschoben, daß die Kopfschwarte eben homogen blau gefärbt war. Nunmehr wurde das Kind vorsichtig in ein Wasserbad von 37° gelegt; hierauf wandelte sich innerhalb von $\frac{1}{2}$ Minute diese Blaufärbung, indem sie völlig verschwand und einer Rotfärbung Platz machte, welche stärker war als die an der Kopfschwarte ursprünglich vorhandene. Bei der Sektion erwies sich die Nachrötung am Kopfe nicht nur an der Kopfschwarte im Schnitt, sondern auch im Schnitt der platten Schädelknochen als sehr deutlich. Die Schädelgefäße an der Duraseite und das Gehirn zeigten dagegen Blaufärbung. Die Verschiebung des Gefäßinhalts wurde in diesem Falle zweifellos durch die Erwärmung ausgelöst und sie erfolgte in der Richtung von den Arterien nach den Venen zu. Die neueinsetzende Verschiebung der ruhenden Flüssigkeit beschränkte sich auf Kopfschwarte und platten Schädelknochen, d. h. bis zu derjenigen Tiefe, bis zu welcher die Wärme bei der kurzen Einwirkungsdauer gelangt sein konnte. Die nach der blauen Gummiarabicumlösung bei geringem Druck eingelassene Portion von 80 ccm Tierblut füllte die größeren Arterien und übte einen Druck auf die blaue Gummiarabicumlösung aus, welche sich in den Capillaren und den kleinen Arterien befand; sie vermochte aber nicht, diese Lösung durch ihren Druck vorwärts zu bringen, offenbar wegen des im Verhältnis zu dem geringen Füllungsdruck großen Widerstandes der kleinsten Gefäße. Wenn nun unter Wärmeeinwirkung die Strömung wieder in Gang kommt, so müssen wir dies der durch die Wärme bewirkten Erweiterung dieser

mit blauer Gummiarabicumlösung gefüllten kleinen Gefäße zuschreiben; die durch die Erwärmung bedingte Viscositätsverringerung dürfte hierbei nur einen unbedeutenden Faktor darstellen. Es handelt sich also um ein labiles Gleichgewicht der im Gefäßsystem ruhenden Flüssigkeitsmengen, welches bei der unter Wärmewirkung sich ändernden Weite der kleinen Gefäße seinen Ausgleich finden kann; die Strömung erfolgt also solange, bis dieser Ausgleich ein vollständiger ist. Ob eine aktive Förderung durch die Gefäßwände hierbei eine Rolle spielt, läßt sich aus dem Versuch nicht erkennen.

Brust und Bauchorgane: Um den Einfluß äußerer Wärme auf die Brust- und Bauchorgane näher zu prüfen, wurde folgende Versuchsanordnung gewählt.

Bei einem Neugeborenen (*Versuch K 9a*), welches geatmet hatte, wurde von der linken Brustseite Haut und Thoraxwand abpräpariert und ebenso von der linken Bauchseite Haut und Muskulatur zurückpräpariert, so daß Brust- und Bauchfell unverletzt blieben. Die freien Schnittränder wurden mit Klemmen verschlossen. Nachdem als Vorlauf 150 ccm Gummiarabicumlösung in die Nabelvene geschickt waren, wurde das Kind mit seiner linken Körperhälfte 5 Minuten im Wasserbad einer Temperatur von 40° ausgesetzt; hierauf wurden 8 ccm einer 1%igen Methylenblau-Gummiarabicumlösung in 12 Sekunden eingelassen. Durch das vorherige Einfüßen von klarer Gummiarabicumlösung war nur eine mäßige Auftriebung des Leibes entstanden. Nach dem Einfüßen der blaugefärbten Lösung zeigte sich keine Veränderung an der Haut. Bei der Sektion wurden die Darmschlingen der linken Seite im Verhältnis zu denen der rechten etwas gebläht gefunden, sie zeigten auf ihrer freien Fläche keine Blaufärbung (vgl. unten S. 638—639); im Gegensatz dazu hatten die Darmschlingen der rechten Seite ein enges Lumen und es war eine Blaufüllung der auf der Wand sichtbaren, dichtbeieinanderliegenden Gefäße vorhanden. Das Mesenterium war jedoch auf beiden Seiten — es handelte sich links im wesentlichen um das Jejunum, rechts um das Ileum — etwa gleich stark injiziert. Die Magenarterien waren in mäßigem Grade blau injiziert. Sehr auffällig war der Befund an der Leber. Hier war schon an der Außenseite sichtbar, daß *nur der linke Leberlappen* und ein benachbarter Teil des rechten Leberlappens von der blauen Flüssigkeit gefüllt war, während der rechte Leberabschnitt von Blaufärbung frei war. Auf verschiedenen Schnitten trat, wie gewöhnlich, die Blaufärbung erst nach einigen Sekunden und zwar zunächst um die großen Lebergefäßherum, ein; auch hier im Leberinnern beteiligte sie etwas die rechte Seite. Der größere rechtsseitige Abschnitt des rechten Leberlappens wird auf dem Schnitte frei von Blau gefunden und bleibt auch so bei langerem Liegen. Die Grenze zwischen der blaugefärbten und ungefärbten Leberzone ist fast flächenhaft scharf. Am Brustkorb waren zunächst einige kleine Arterien an der linken Lungenkuppel deutlich mit Blau gefüllt; eine von diesen zog nach der linken Seite des Thymus hinüber. Am Hilus der linken Lunge zeigte sich das Stammgebiet der Arteria pulmonalis mit Blau gefüllt, die linke Lunge selbst war ebenso wie die rechte frei von Blau. Die linke Herzkammer zeigte unmittelbar nach der Eröffnung Blaufärbung, ebenso der Aortenbogen und seine Äste sowie die Aorta descendens. Die übrigen Bauchorgane und die Distalschnitte der Gliedmaßen waren von der kleinen Menge blauer Farblösung nicht mehr erreicht worden (*Tafel VII, Abb. 2*).

Die *Einströmung von der Nabelvene aus* wurde gewählt, um die Brusthöhlen uneröffnet zu lassen. — Wird bei der Durchströmung von der Nabelvene aus der gefärbten Testflüssigkeit eine größere Menge ungefärbter

Gummiarabicumlösung vorausgeschickt, so füllt diese, wie in dem Kapitel über die Technik beschrieben wurde (S. 529), im wesentlichen zunächst die Venen der Rumpforgane (und des Schädelinneren) an und jede später eingelassene Farbportion dringt hauptsächlich über die Aorta vor. Bei den vergleichenden Versuchen über die Wirkung der Wärme auf die Brust- und Bauchorgane erwies es sich aber als ohne Belang, ob die Testflüssigkeit den zu vergleichenden Organen oder Organabschnitten auf dem arteriellen oder rückläufig auf dem venösen Wege zugeführt wurde. *Der größere oder geringere Füllungszustand richtete sich ausschließlich nach dem Verhalten der Capillaren und der kleinsten Gefäße;* waren diese erweitert und einer reichlichen Durchströmung zugänglich, so wurde ihnen auch eine reichlichere Menge der Durchströmungsflüssigkeit zugeführt, und zwar auch dann, wenn die Zufuhr von der Seite der Venen her (d. h. rückläufig) stattfand. Bei der Leber des überlebenden Neugeborenen bedeutet die Durchströmung von der Nabelvene her stets einen Durchfluß in normaler Stromrichtung (bis auf die Abflußmöglichkeit in Richtung auf die Portalvene), entsprechend den Versorgungsverhältnissen der Leber bis zur Abnabelung; nur der Abfluß in Richtung auf die Portalvene erfolgt beim Versuch „rückläufig“. — Wird der Versuch einer *Durchströmung bei halbseitiger Erwärmung des Rumpfes* in der Weise durchgeführt, daß das Einfließen unmittelbar vom linken Herzen bzw. von der Aorta aus geschieht, so läßt sich ebenfalls auf der Seite der Wärmeeinwirkung eine bevorzugte Durchströmung der Thymushälfte, eine bevorzugte Füllung der Lunge (rückläufig von der linken Vorkammer aus), ferner auch eine verstärkte Durchströmung der Niere feststellen (vgl. Versuch K 54, 58). Der Unterschied zwischen rechts und links tritt ohne Freilegung des Bauchfells an der Leber in weniger scharfer Begrenzung in die Erscheinung, offenbar weil es unmöglich ist, bei der Erwärmung von außen durch die Bauchdecken ausschließlich die eine Bauchhälfte zu erwärmen. — Daß bei den Versuchen der halbseitigen Erwärmung auch Teile der linken Kopfhälfte und die linksseitigen Extremitäten stärker gefüllt wurden, habe ich vorausnehmend schon in den entsprechenden Abschnitten meiner Darlegungen erwähnt.

In weiteren Versuchen wurde das *Verhalten der Gefäße an der Darmwand gegenüber einem vom Darmlumen aus wirkenden Temperaturreiz* geprüft.

So wurde bei einem Neugeborenen (Versuch K 7) eine durch Unterbindung des Lumens von dem zu- und abführenden Darm isolierte (10 cm lange) Dünndarmschlinge eines zimmerwarmen Kindes mit Wasser von 39° durchspült, während gleichzeitig unter einem Wasserdruk von 65 cm 5 ccm einer blaugefärbten Lösung in das Gefäßsystem hineingelassen wurden. Der gefärbten Testprobe war, noch ehe die Erwärmung der Darmschlinge begonnen hatte, ein Vorlauf von 180 ccm einer farblosen Gummiarabicumlösung vorangegangen. Es zeigte sich bei der Blauinjektion zunächst keine Veränderung am Darm; erst nachdem 3 weitere

Kubikzentimeter derselben Blaulösung eingeflossen waren, schoß die *blaue Farbe plötzlich in die Arterien des Mesenteriums der isolierten Schlinge* und deren Fortsetzung auf der Darmwand dieser Schlinge; sofort wird der Zustrom unterbrochen, doch hatte sich, wenn auch deutlich später, inzwischen auch das Mesenterium der benachbarten Dünndarmabschnitte gefüllt. Bei der Autopsie zeigte sich das Mesenterium der isolierten Schlinge im Gegensatz zu den benachbarten Abschnitten reichlich gefüllt.

Störende Einflüsse durch Druck seitens der Ränder des Bauchschnitts auf die zur Darmschlinge führenden Gefäße lassen sich leicht vermeiden, wenn man den Bauchschnitt groß genug wählt; der Versuch fällt aber auch bei völlig offenem Bauche nicht anders aus, er verläuft ferner in gleicher Weise, wenn man die von warmem Wasser durchspülte Darmschlinge nach Freipräparieren des Peritoneums durch dieses hindurch betrachtet (vgl. Versuch K 35, 41). Schwer zu vermeiden ist dagegen die *Wirkung des Innendrucks vom Darmlumen her*, welche in jedem Falle der Füllung einer isolierten Darmschlinge mit Flüssigkeit zu erwarten ist und sich offenbar auch schon bemerklich macht, wenn das im Darm enthaltene Gas unter dem Einfluß einer von außen auf den Bauch wirkenden Erwärmung sich in mäßigem Grade ausdehnt (vgl. Versuch K 9). Wie stark die Anämie der Darmwand bei erheblicherem inneren Gasdruck am Lebenden werden kann, ist dem Chirurgen aus den Beobachtungen bei Ileusoperationen bekannt; wird das Gas durch Punktation abgelassen, so wird die Darmwand rasch aufs neue mit Blut durchströmt.

Eine eigenartige Einwirkung auf den Darm und seine Wandcapillaren ergibt sich, wenn man den *herausgeschnittenen Darm auf warmes Wasser, z. B. von 39°*, legt; der vorher bandartige, erschlaffte Darm gewinnt seinen Tonus wieder, so daß er zylindrisch auf der Oberfläche schwimmt; sehr auffällig ist hierbei, daß sich der Darm, wenn seine Wandgefäß vorher blau injiziert waren, weitgehend entfärbt, während die Mesenterialgefäß tiefblau gefärbt bleiben bzw. sich noch stärker färben. Besonders blaß wird der Darm an denjenigen Stellen, an welchen er von dem Zuflußstrahl des warmen Wassers unmittelbar getroffen wird. Taucht man in gleicher Weise parenchymatöse Organe (*Leber, Niere*) auf 10 Minuten *in Wasser von 39°* und entsprechende Vergleichsstücke für die gleiche Zeitspanne in kaltes Wasser, so zeigen die erwärmten Organe eine gewisse Quellung; an Querschnitten der Leber, welche vorher mit Blaulösung durchströmt war, zeigte sich die Färbung auf die Hauptgefäß konzentriert, während die Kleinfleckung an der Oberfläche und die auf einem vorangegangenen Probeschnitt festgestellte reichliche dendritenartige Gefäßfüllung des Parenchyms geschwunden war. Entsprechend zeigten in Wasser von 40° getauchte, bluthaltige, mit Methylenblau-lösung durchspülte Organe das Zurücktreten des Blutes aus den Gefäßen der Oberfläche; an der Leber schwand die Blaufärbung nicht in gleichem Maße wie die Blutfärbung. — Die Versuche zeigen, daß eine

Temperatureinwirkung von 39—40° an isolierten Organen der Bauchhöhle dahin wirkt, die gefüllten Capillaren nach den Gefäßstämmen hin zu entleeren. Da der Darm zuvor bandartig erschlafft, also ohne wesentlichen Gasinhalt gewesen war, kann in diesem Falle von einer erheblichen Druckwirkung seitens des durch die Wärme gedehnten Gasinhalts nicht die Rede sein. Die Erscheinung der Entleerung der kleinen Gefäße trat ja auch an den parenchymatösen Organen in gleicher Weise auf wie an der Darmwand. Die Entleerung der Capillaren war offenbar eine Folge der Erwärmung, demgemäß trat sie auch dort, wo der Zuflussstrahl mit den Organen in Berührung kam, also an der Stelle einer erhöhten Calorienzufuhr, in erhöhtem Maße auf. — Vergleichen wir hierzu die Beobachtungen an der Haut, über welche ich im Eingang dieses Kapitels berichtet habe, so findet sich *hinsichtlich der die Capillaren kontrahierenden Wirkung höherer Temperaturen eine völlige Analogie zwischen der Haut und den Bauchorganen bzw. deren Oberflächen* (vgl. S. 626, 629, 630; 640). Auch in jenen Versuchen zeigte sich an der Stelle des auffallenden (Wasser- bzw. Luft-)Strahls die stärkste Kontraktion, doch ist diese Wirkung um so größer, je mehr die Temperatur des Strahls von der Temperatur des untersuchten Gliedabschnitts abweicht. Es ist also zweifellos der thermische Einfluß, welcher in diesen Fällen die Capillaren entleert, und zwar geschieht dies offenbar durch Vermittlung einer Eigentätigkeit der Capillarwand. — In welchem Ausmaße am überlebenden Neugeborenen noch *aktive Bewegungsvorgänge durch Temperaturreize auszulösen* sind, zeigt die Tatsache, daß sich bei einer Anzahl von Fällen nach dem warmen Wasserbade *bei Eröffnung der Bauchhöhle eine Riffelung der Darmwand*, offenbar unter der Wirkung der kühleren Zimmerluft, einstellte.

Haut. Die fleckweise vorhandene, kleblattförmige *Verteilung der in Bewegung befindlichen Durchströmungsflüssigkeit an der Haut* weicht an der erwärmten bzw. abgekühlten Körperseite weder hinsichtlich des Charakters der Einzelherde noch hinsichtlich der Verteilung der Einzelherde über die verschiedenen Hauptgegenden von der auf mittlerer Temperatur (Zimmertemperatur oder Körpertemperatur) verbliebenen Vergleichsseite ab; doch schreitet die Fleckenbildung auf der erwärmten Seite viel rascher zu einer dichten, in Gestalt und Anordnung der Fleckung dem „Pantherfell“ gleichenden Ausbreitung fort, als auf der nicht von außen erwärmten Vergleichsseite, — ebenso erfolgt die Fleckenbildung auf einer unter 37° abgekühlten Körperseite langsamer und spärlicher als auf der Vergleichsseite (Tafel VII, Abb. 1 und 3). Bei fortgesetzter Durchströmung wird dementsprechend auf der erwärmten Seite die homogene Färbung früher erreicht als auf der Vergleichsseite.

Was das *Verhalten des noch in den kleinsten Gefäßen befindlichen, also ruhenden, körpereigenen Blutes* an dem überlebenden Gewebe

angeht, so beobachtet man in der Regel beim Eintauchen des Neugeborenen in ein warmes Wasserbad ein leichtes Abbllassen (K 31, 32). Enthalten die kleinen Gefäße in etwas reichlicherem Maße gestautes Blut, wie dies an den unteren Extremitäten in der Regel der Fall ist, so kann man bei der Einwirkung von 40° warmem Wasser ein eigenartiges Spiel von Färbung und Entfärbung beobachten; zunächst erfolgt ein gewisses, allgemeines Erbllassen, dann ein leichtes *Wechselspiel* mit Auftreten einzelner hämorrhagieähnlicher Fleckchen, schließlich Einstellung auf eine matte Rosafärbung (Versuch K 9; K 34); vgl. S. 626. Eine durch Umlegen einer Gummibinde um den Bauch aufgetretene blaurote Färbung des Kopfes geht unter der Einwirkung des warmen Wasserbades in eine bordeauxrote über. — Hautbezirke, welche infolge der Lagerungsweise des Neugeborenen nach dem Tode durch Druck anämisch geworden waren, blaßten aber nicht weiter ab, zeigten vielmehr nach einiger Dauer des warmen Bades eine diffuse Rötung des Untergrundes (streifenförmige Gebiete an der Innenseite der Arme und an den entsprechenden Anlagerungsflächen am Rumpf (K 32); blasser Druckfleck an der Schulter durch Anlagerung des Kinns (K 21). — Andererseits wird auch bei *Kälteinwirkung* das Hervortreten einer diffusen Rotfärbung des Untergrundes beobachtet, so in einem Falle an der Kopfschwarze und im oberen Rückenabschnitt, dem Gebiete des Trapezius entsprechend (K 17); die capilläre fleckige Blaufärbung, welche hier zuvor durch eine Durchströmung erzielt war, wurde durch das Auftreten dieses roten Untertones nicht beeinträchtigt. In der Regel wird nach Bespülen eines in den Capillaren mit Farblösung gefüllten Gebietes mit kaltem Wasser eine netzartige Färbung hervorgerufen; sie beruht auf Übertritt des Capillarinhalts in den subpapillären Plexus. — Die Haut wird unter der *Einwirkung des warmen Wasserbades*, wie sich besonders an der Bauchhaut beobachten läßt, weich und elastisch, die blasse Bauchhaut rosig, die Talgdrüsenniedersetzungen treten als kleine Tupfen hervor (K 22); erst nach längerer Einwirkung eines warmen Bades wird Quellung und Runzelung der Haut beobachtet. Unter der *Einwirkung von heißem Wasser* (45—50°) erfolgt nach einiger Zeit eine Abhebung der oberflächlichen Epithelschicht und Blasenbildung wie bei Verbrennung zweiten Grades (B 1, B 4); eine besonders ausgiebige Bläschenbildung bei Einwirkung *mäßiger* Wärmegrade zeigte sich bei einem luischen Neugeborenen (K 25), sie ist offenbar auf eine pathologisch erhöhte Ödembereitschaft zurückzuführen.

Beim Verweilen des Neugeborenen *in einem warmen Wasserbad* findet ein Abbllassen der Haut nun nicht nur hinsichtlich des noch in den kleinsten Gefäßen verbliebenen Blutes, sondern auch hinsichtlich einer im Gefäßsystem ruhenden Farblösung statt; so schwanden die blauen Fleckchen am Kopf in einem Wasserbad von 38,5° im Laufe

etwa einer Viertelstunde fast vollständig und blieben während des zweistündigen Wasserbades unsichtbar; sie traten aber nach dem Herausnehmen aus dem Wasserbad wieder deutlich hervor (Versuch K 23). Der Vorgang einer *Verstärkung der Blaufleckung nach Entfernung aus dem warmen Wasserbad* wurde häufig, und zwar auch nach kurzen Wasserbädern beobachtet (K 19, 20, 21, 22); die Färbung tritt hierbei nicht nur deutlicher hervor, sondern breitet sich auch noch aus (K 22). Auch das bei Erörterung des Verhaltens der mit körpereigenem Blut gefüllten Gefäßchen beschriebene Wechselspiel wird nach der Durchströmung mit Methylenblau-Gummiarabicumlösung als Wirkung des Wasserbades beobachtet; so zeigte sich ein solches an den unteren Extremitäten nach einem einstündigen Wasserbad von 42° in Gestalt eines Verschwommenwerdens und Ablassens der blauen Fleckchen, welches mit einem Wiederhervortreten kleinerer kräftigerer Fleckchen abwechselte; an der Vergleichsextremität, die von der gleichen Flüssigkeit, aber mit Suprareninzusatz durchspült worden war, zeigte sich in dem Wechselspiel der Zeitabschnitt des Ablassens verlängert und verstärkt (Versuch K 29). (Die Suprareninwirkung wird weiter unten besprochen werden.) — Wird dagegen ein Neugeborenes *erst nach Durchströmung* mit einer Farblösung, die die Hautcapillaren noch nicht erreicht hatte, *in ein warmes Wasserbad* getaucht, so kommt ein dem oben beschriebenen entgegengesetztes Verhalten zur Beobachtung, nämlich Hervortreten der Färbung beim Eintauchen in das Bad und Wiederverschwinden beim Herausnehmen. So wurden bei einem mit einer Anilingelb-Gummiarabicumlösung durchströmten Kinde nach dem Eintauchen in ein Wasserbad von 37,5° in der ersten Minute die Nasenflügel und Stirnscheitelgegend deutlich gelb; in der ersten bis zweiten Minute trat die Gelbfärbung an den oberen Extremitäten und besonders der rechten Leistenbeuge hervor (die linke Leistenbeuge wurde ebenso wie einige andere von vornherein lividblaue Hautgebiete nicht gefärbt). Nach 8 Minuten wurde das Kind, welches auf einer siebartigen Unterlage im Wasser ruhte, mit dieser aus dem Bad herausgenommen (so daß die Gliedmaßen nicht gegeneinander bewegt wurden). Sofort verschwand sämtliches Gelb aus der rechten Leistenbeuge; auch das Gelb an den Fingern und am Kopf blaßte deutlich ab. Beim nochmaligen Eintauchen in dasselbe Wasserbad nach 5 Minuten trat die Gelbfärbung in der Leistenbeuge nicht wieder hervor, am Arm schien sie wieder etwas verstärkt (Versuch K 35). — Ist das Neugeborene etwas längere Zeit ($\frac{1}{2}$ —1 Stunde) aus dem warmen Wasserbad entfernt, so ist die Ablassung der natürlichen Blutfüllung wie der gefärbten Injektionsflüssigkeit die Regel (Versuch K 30); etwa imbibierte Farblösung läßt die Flecken in zunehmendem Maße verschwommen werden. Der stärkste Grad von Erlassen, als „wachsgelbe Färbung“ erscheinend, tritt in Gebieten mit natürlicher Blutfüllung ein, wenn ein Wasser-

bad von erheblicherer Wärme (45,5°) einige Zeit eingewirkt hatte, und zwar besonders auf der nach aufwärts gekehrten Gesichtshälfte (Versuch K 28).

Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß eine länger andauernde Wärmeeinwirkung die kleinen Gefäße erweitert. Wenn wir nun sehen, daß die Haut, während sich körpereigenes Blut bzw. Farbflüssigkeit in ihren Gefäßen befindet, unmittelbar nach dem Eintauchen in ein warmes Wasserbad abblaßt, so werden wir dieses primäre Abbllassen der Reizwirkung des Temperaturwechsels zuschreiben. — Auf der anderen Seite wissen wir, daß eine länger andauernde Kälteeinwirkung die kleinen Gefäße verengt; wenn nun eine plötzliche Kältewirkung in gleicher Weise wie eine plötzliche Wärmewirkung ein Abbllassen der Haut auslöst, so ergibt sich, daß *es bei einem auf Temperaturwechsel beruhenden Gefäßreiz nicht darauf ankommt, ob es sich um Wärme- oder Kälteeinwirkung handelt*, daß *vielmehr gefüllte Gefäße sich auf einen solchen Reiz hin zunächst entleeren*. Das oben (Versuch K 35, S. 641) beschriebene entgegengesetzte Verhalten: Auftreten der Färbung nach dem Eintauchen in das Wasserbad und Wiederverschwinden nach dem Herausnehmen — kann widerspruchsvoll und das Verhalten der kleinen Gefäße überhaupt als regellos erscheinen. Wenn wir uns aber vergegenwärtigen, wie beschaffen diejenigen Capillargebiete waren, welche bei der Durchströmung unter gleichzeitiger Wärmeeinwirkung am reichlichsten berieselt wurden, so erweisen sich die z. B. durch einen zufälligen Druck von außen besonders stark blutarm gewordenen Gebiete als bevorzugt (Versuch K 21). In diesen Gebieten muß der „Bluthunger“ ganz besonders ausgeprägt gewesen sein, — wir können statt dessen auch einfach sagen: *leere Gefäße neigen zur Erweiterung*. Daß *gefüllte Gefäße zur Zusammenziehung neigen* und sich, wenn sie nicht dauernd unter Druck neu gefüllt werden, nach kurzer Zeit selbstständig entleeren, habe ich im hydrodynamischen Teil bereits gezeigt. Durch diese Selbstentleerung, Neufüllung und Wiederentleerung kommt ja offenbar auch das oben beschriebene „Wechselspiel“ an der Haut nach Wärmeeinwirkung zustande; das Wechselspiel an der Haut des gestauten und abgeschnürten Gliedes beim Lebenden ist offenbar ein entsprechender Vorgang. Die einzige Reaktion, deren ein gefülltes bzw. etwas überfülltes Gefäß fähig ist, ist die Zusammenziehung, beim leeren Gefäß ist es die Erweiterung. *Es kommt nun offenbar darauf an, in welcher Zustandsphase des Gefäßes der den Reiz anstoß auslösende Temperaturwechsel das Gefäß trifft*. Neigt das Gefäß zur Zusammenziehung (Versuche S. 640—641), so wird es durch den äußeren Anstoß in diesem Bestreben gefördert, neigt es zur Erweiterung (Versuch S. 641), so ist dasselbe in umgekehrtem Sinne der Fall. Nur wenn die Temperatureinwirkung durch die Länge ihrer Dauer oder durch ihre Stärke mehr als einen leichten Anstoß für das Verhalten des Gefäßes

bedeutet, unterliegt dieses derjenigen Veränderung, die ihm durch die Art der Temperatureinwirkung aufgezwungen wird. — Wird also die mehr oder minder blasse Haut des überlebenden Neugeborenen erwärmt, bevor die Durchströmung stattfindet oder gleichzeitig mit dem Beginn der allgemeinen Körperdurchströmung, so folgen die Capillaren der an leeren Gefäßen im allgemeinen vorhandenen Erweiterungsneigung (Versuch S. 639 bis 640); hat aber die Durchströmung vor der Erwärmung stattgefunden, so wird die nunmehr durch die Füllung vorhandene Neigung zur Zusammenziehung (Versuche S. 640—641) zunächst ausschlaggebend. Dies gilt jedenfalls bei allen Temperaturen, die über der Bluttemperatur liegen. — Das Ablassen bei Entfernung des Kindes aus dem warmen Wasserbad erklärt sich als primäre Wirkung des Temperaturwechsels und kann durch den Umstand, daß es sich um einen Kältereiz handelt, nur verstärkt werden. Haben sich die kleinen Hautgefäße während des warmen Bades erheblich mit der Durchströmungsflüssigkeit gefüllt, so entspricht dieses Ablassen auch der Kontraktionsneigung gefüllter Gefäße. Entgegengesetzte Wirkungen der gleichen Temperaturreize können also nur dann als widerspruchsvoll erscheinen, wenn man den jedesmaligen Füllungszustand und Wandtonus der kleinen Gefäße nicht in Rechnung zieht.

Einer besonderen Erläuterung bedarf der vermehrte Zustrom zu den *infolge von Blutsenkung lividverfärbten Körperabschnitten* insofern, als beim Wärmeversuch nach den gegebenen Regeln die mit körpereigenem Blut gefüllten Hautgefäße sich beim Eintauchen des Neugeborenen in ein warmes Wasserbad zusammenziehen sollten. Wenn dies nicht in dem zu erwartenden Maße geschieht, so ist zu bedenken, daß sich die Überfüllung in diesen Fällen nicht nur auf die kleinsten Gefäße, sondern auch auf die gesamten an diese anschließenden Venenbereiche bezieht, und daß bei dem primären Ablassen stets nur eine Verschiebung aus den kleinsten Gefäßen nach der unmittelbaren Nachbarschaft hin erfolgt (verstärktes Hervortreten der Färbung des Untergrundes!). Wenn in solchen Fällen das Ablassen völlig unterbleibt, so müssen wir annehmen, daß die Capillaren durch die überreiche Füllung mit stagnierendem Blut eine toxische Lähmung der Wände erfahren haben.

Ein *Krampf der kleinsten Gefäße*, der weder durch den Druck der Durchströmungsflüssigkeit noch durch äußere Wärmeeinwirkung behoben werden kann und auch nach Tagen noch unverändert zu beobachten ist, wurde an der Haut des Neugeborenen und an abgesetzten Gliedmaßen als Folge sehr starker Wärmeeinwirkung (heißer Föhn) bei zahlreichen Gelegenheiten festgestellt; wie weiterhin näher zu erläutern sein wird, ist er auch als Folge der Einwirkung von konzentriertem Suprarenin oder Pituitrin zu beobachten.

Bei wiederholtem Wechsel von Wärme- und Kälteinwirkung auf das überlebende Gewebe geht die weitere Reaktionsfähigkeit für Reize derselben

Größenordnung bald verloren, ebenso wie sich dies hinsichtlich der Entleerung durch Spontankontraktionen nach einigen Malen wiederholter Durchströmung bzw. Füllung zeigte.

Das reiche *Schrifttum* über die Physiologie der Kreislauforgane enthält auffälligerweise nur recht spärliche Untersuchungen über die Einwirkungen der Temperatur auf die peripheren Gefäße und auf deren Durchströmung; während selbst über das Gebiet der hydrostatischen Bedingungen neuerdings monographische Abhandlungen von *Stigler* und von *Kauffmann* vorliegen, beschränken sich die zusammenfassenden Darstellungen über die Wärmeeinwirkung bei *Tigerstedt*¹ auf eine kurze Übersicht der Veränderungen des Blutstromes in den Arterien bei Bädern (wobei im wesentlichen nur die Änderungen des Minutenvolumens des Herzens betrachtet werden) und im „Handbuch“ von *Bethe, v. Bergmann* usw. auf eine kurze Zusammenstellung von *Atzler* und *Lehmann*² über die Reaktionen der Gefäße auf thermische Reize an Hand einzelner Angaben aus dem Schrifttum.

An *Arterienstreifen* beschreibt *Rothlin*³ eine mit der Temperatursteigerung zunehmende Verkürzung; *Meyer, Cow* und *Schmidt*³ fanden die Reaktionen nicht streng schematisch, sondern in verschiedenen Temperaturzonen verschieden und keinesfalls in der Weise, daß Wärme allgemein erschlaffte, Kälte zusammenzog, wie es sonst für die glatte Muskulatur im allgemeinen gültig ist. Im *Durchströmungsversuch* sah *Lewaschew*³ bei Abkühlung Verengerung eintreten, ebenso wie vor ihm bereits *Goetz*³; diese Reaktion war auch zu beobachten, wenn die Nerven degeneriert waren, woraus die periphere Natur der Erscheinung, die unmittelbare Reaktion der Gefäßwand selbst, ersichtlich ist. Im allgemeinen wird im Durchströmungsversuch mit steigender Temperatur eine Zunahme der Durchflußmenge beobachtet (*Atzler*). Nach *Roskam*⁴ beruht diese Zunahme auf der *Viscositätsverminderung*; nach ihm würde die Zunahme der Durchflußmenge eine viel größere sein, wenn nicht die Arteriolen im entgegengesetzten Sinne wirken würden, indem sie sich beim Umschalten von einer kalten auf eine wärmere Lösung verengen.

Nach unseren Versuchen tritt die *Verengerung der größeren Gefäße* nur bei höheren Wärmegraden (über 40°) ein; die Zunahme der Durchflußmenge bei Wärmeeinwirkung kann nicht vorwiegend oder ausschließlich durch Abnahme der Viscosität erklärt werden, da die Erweiterung der Capillarbahn eine so erhebliche war, daß hierdurch allein schon eine gewaltige Zunahme der Durchflußmenge hätte erfolgen

¹ *Tigerstedt*: Physiologie des Kreislaufs, 2. Aufl., Bd. 3, S. 138—142. 1922.

² *Atzler u. Lehmann*: in Bethes Handbuch der normalen usw. Physiologie, Bd. 7/2, S. 994/95. 1927.

³ Zit. ebenda.

⁴ *Roskam*: Action locale de la température sur les vaisseaux. Bull. Acad. Belg. 1913, S. 958.

müssen. Auch zeigte sich bei der Durchströmung kein grundsätzlicher Unterschied zwischen dem Verhalten von zwei mit Flüssigkeiten von verschiedener Temperatur durchströmten Gliedmaßen und dem Verhalten von zwei auf verschiedene Temperatur gebrachten, aber mit einer Flüssigkeit von gleicher Temperatur durchströmten Gliedmaßen; *das Verhalten der Gefäßbahn, nicht die Viscosität war demnach ausschlaggebend.* — Bei höherer Temperatur der Durchströmungsflüssigkeit (45°) wurde trotz vermehrter Capillarfüllung sogar eine Herabsetzung der gesamten Durchflußmenge beobachtet, die auf die Zusammenziehung der großen Gefäße zurückzuführen ist. — Der Einfluß der Wärme auf die Viscositätsverminderung ist überhaupt nicht so erheblich, um bei unseren Versuchen für eine verbesserte Durchströmung sehr wesentlich in Betracht zu kommen. Die Viscosität des defibriinierten Blutes ist nach *Tigerstedt* bei Hundeblut von 40° noch immer mehr als halb so groß wie bei schem von 15° , bei normalem Blut würde sich nach *Hess* in gleichem Falle die Viscosität nur um 20% erniedrigen; bei der von uns vorwiegend benutzten Gummiarabicumlösung sind die Unterschiede noch erheblich geringer.

Am besten stimmen unsere Beobachtungen mit denjenigen überein, die *Pissemski*¹ bei *künstlicher Durchströmung des Kaninchenohres* gemacht hat. *Pissemski* fand bei raschem Wechsel von warmer zu kalter Durchströmung eine primäre Gefäßverengerung, die allmählich und nur unvollständig zurückging; bei umgekehrtem Wechsel sah er eine starke, ebenfalls nur zum Teil zurückgehende Erweiterung. Bei langsamem Wechsel fehlte die primäre Reaktion. Hatte die Durchströmungsflüssigkeit eine Temperatur von $43-44^{\circ}$, so beobachtete er stets starke Verengerung. Wirkte die Temperatur von außen, nicht vom Gefäßinneren auf die Gefäßwände, so fand er im allgemeinen ein gleiches Verhalten, doch fehlte die primäre Reaktion.

Auf die *beim Lebenden*, hauptsächlich *an der Haut des Menschen* angestellten Beobachtungen von *v. Dalmady, Hagen, Carrier* und *Ebbecke* soll hier nicht näher eingegangen werden. Das Verhalten der Capillaren beim Lebenden unter Wärmeeinwirkung entspricht jedenfalls im wesentlichen dem im Durchströmungsversuch am Überlebenden festgestellten. Bei Wärmeeinwirkung wird Erweiterung der Capillaren, beim Kältereiz primäres Abbllassen (Verengerung der Arteriolen und Capillaren) und nachfolgende Hautrötung durch Capillarlähmung beobachtet; am abgebundenen Arm, also bei ruhendem Gefäßinhalt, tritt auf Kältereiz sofort die Erweiterung der Capillaren ohne primäre Zusammenziehung in die Erscheinung (*Ebbecke*). Nach *v. Dalmady* kann eine durch Auflegen eines Eisstückchens abgeblaßte und dann rot gewordene Hautstelle

¹ *Pissemski*: Über den Einfluß der Temperatur auf die peripheren Gefäße. *Pflügers Arch.* **156**, 426 (1924).

durch Adrenalin nicht zum Abbllassen gebracht werden, während umgekehrt ein durch Adrenalin hervorgerufener weißer Fleck durch Abkühlung in einen roten verwandelt wird, solange das Eisstückchen aufliegt. Hieraus wird der Schluß abgeleitet, daß es sich bei der Kältewirkung um eine Capillarlähmung handelt, deren Sitz die myoneurale Zwischenschicht ist; solange diese gelähmt ist, wird das Adrenalin unwirksam. Eine durch mechanischen Reiz oder durch Wärme gerötete Haut wird dagegen auf Adrenalin hin sofort zum Abbllassen gebracht. — Beim Überlebenden fehlt natürlich die reflektorische Capillarreaktion, die sich beim Lebenden in der Weise äußert, daß beim Eintauchen eines Armes in warmes Wasser auch in den übrigen Gliedmaßen eine Gefäßerweiterung und entsprechend beim Eintauchen in kaltes Wasser eine Mitreaktion durch Gefäßverengerung erfolgt (*Romberg-Müller*).

Ausführlich ist die *Erzeugung aktiver Hyperämie durch Wärme* von *Bier* in seinem Buche über die „Hyperämie als Heilmittel“ erörtert worden; *Bier* schildert insbesondere in eingehender Weise den örtlichen und allgemeinen Einfluß der Heißluftbäder auf den Körper. Er sieht in der durch die Heißluft erzeugten aktiven Hyperämie, d. h. reichlicheren und vor allem schnelleren Blutdurchströmung den therapeutisch verwendbaren wichtigsten Faktor dieses Reaktionsvorganges. Bei Einwirkung der Hitze auf einzelne Körpergegenden ist nach *Biers* Versuchen die als „Kühlstrom“ wirkende *beschleunigte Durchströmung* das wesentliche Moment, welches die Überhitzung der Haut hintanhält, und bedeutungsvoller als die vermehrte Schweißabsonderung. Die größte Hitze — 145° — verträgt der Arm im Zustande der reaktiven Hyperämie nach Lösung einer Blutleerebinde; bei Anlegung einer Staubbinde (bei fühlbarem Radialpuls) werden nur 78° ertragen. An der Haut fand *Bier* unmittelbar nach der Heißluftbehandlung Temperaturerhöhungen von $1,1$ — $1,7^{\circ}$, welche in etwa $1\frac{1}{2}$ Stunden zur Norm abklangen. Wie diese Temperaturmessungen zeigen, kommt an der Haut wie an den Capillaren nur eine mäßige Temperatursteigerung zur unmittelbaren Auswirkung. *Die Wirkung der hohen Temperaturgrade bei Anwendung der Heißluft ist also eine mittelbare*; die Hitzewirkung wird durch den beschleunigten Blutstrom und die Schweißbildung großenteils im Augenblick des Überganges auf die Hautoberfläche wieder aufgehoben durch Abkühlung der Haut von innen und Erzeugung einer verhältnismäßig kühlen Dampfschicht auf der Hautoberfläche. Es handelt sich demnach um einen verwickelten Reizvorgang, bei dem ein Zusammenspiel von Funktionen die *nur beim Lebenden in dieser Vollständigkeit mögliche Reaktion* in die Erscheinung treten läßt. Die von uns untersuchte unmittelbare Wärmeeinwirkung auf die Gefäßwände ist nur ein Teilvergäng in diesem Reaktionsvorgang; nur dieser Anteil ist einer näheren Untersuchung im Durch-

strömungsversuch zugängig. — Bei ruhendem Gefäßinhalt bzw. bei leeren Gefäßen werden schon durch Temperaturen von 50° Verbrennungserscheinungen am überlebenden wie am lebenden Gewebe hervorgerufen, wie die geschilderten Versuche und ein Selbstversuch am ausgewickelten blutleeren Arm unter Einwirkung des warmen Föhn erkennen ließen. Vergleicht man hierzu die Verhältnisse unter extrem warmen Klimaten wie im Sommerklima von Bagdad, woselbst ich im Juli wiederholt mit dem Schleuderthermometer im Schatten in freier Luft und möglichst entfernt von rückstrahlenden Flächen 50° Lufttemperatur und mit dem Maximumthermometer im sonnenbeschienenen Sand 70° C gemessen habe, so ist ersichtlich, daß es sich hier um die physiologischen Grenzen handelt, welche der Mensch mit Rücksicht auf den Wärmehaushalt zu ertragen vermag. Unter diesen Umständen, welche einem Aufenthalt des gesamten Körpers im Heißluftkasten entsprechen und, beim Einsetzen heißer Steppenwinde, zugleich der Wirkung eines den ganzen Körper treffenden „Föhn“-Luftstromes zu vergleichen sind, ist das Leben für den Menschen nur unter ständiger Schweißbildung und Schweißverdunstung möglich.

Zusammenfassung.

31. Bei *Andauer* gleichmäßiger äußerer und innerer Temperaturbedingungen zeigt das Gefäßsystem in allen seinen Teilen einen gewissen Zustand der Gefäßdurchmesser, der dem Verhältnis von Innendruck und Wandtonus entspricht und eine bestimmte Verteilung des strömenden Gefäßinhalts zur Folge hat; der Temperaturzustand ist hierbei eine der *Bedingungen* für die Art der Inhaltsverteilung. — Tritt eine *Veränderung* in der Temperatur der Umgebung oder des strömenden Inhalts auf, so übt diese Änderung einen *Reiz* auf die Gefäßwand aus, welche den Wandtonus und damit die Gefäßweite beeinflußt und einen Wandel in der gesamten Inhaltsverteilung hervorruft.

32. *Wärmeeinwirkung innerhalb physiologisch ertragbarer Grenzen* (39—40°) hat bei einem *durchströmten* Organ bzw. Gewebe in der Regel eine Erweiterung der kleinen Gefäße zur Folge; am nichtdurchströmten Organ werden die mit *ruhendem* Gefäßinhalt gefüllten kleinen Gefäße zunächst verengt, — dann folgt ein *Wechselspiel* von Erweiterung und Verengerung und schließlich ein Verharren in leicht erweitertem Zustande, — *leere* Capillaren werden erweitert.

33. Erweiterung der großen Beinvenen am Amputationsschnitt durch längere Wärmeeinwirkung kann auch nach längerer Zeit zum erneuten Abfluß von Blut von der Vena cava inferior her führen.

34. Bei Wärmeeinwirkung mit *Verbriihungscharakter* findet ebenfalls eine Erweiterung der *durchströmten* Capillaren statt mit verstärkter Durchtränkung des Gewebes vom Gefäßinhalt her; leere oder mit

ruhendem Inhalt gefüllte Capillaren verengen sich hierbei und können in Dauerkontraktion verharren.

35. *Kälteeinwirkung innerhalb physiologisch ertragbarer Grenzen (10°)* erzeugt leiches Abblasen mit Hervortreten des subpapillären Plexus und weiterhin eine lividrote Hautfärbung. Der durch Kälteeinwirkung sichtbar gewordene subpapilläre Plexus schwindet wieder bei erneuter Wärmeeinwirkung.

36. Unter *Wärmeeinwirkung* wird die Haut weich und elastisch, die blasse Bauchhaut rosig, die Talgdrüsennäpfchen treten als kleine Tupfen hervor; nach längerer Einwirkung eines warmen Bades wird Quellung und Runzelung der Haut beobachtet. Unter *Einwirkung von heißem Wasser* erfolgt nach einiger Zeit Abhebung der obersten Epithelschicht und *Blasenbildung* wie bei einer Verbrennung zweiten Grades; unter Einwirkung des heißen Föhns und bei ruhendem Gefäßinhalt zeigt sich Austrocknung. — Bei *Kälteeinwirkung* kann an den Extremitäten die Entstehung einer Gänsehaut beobachtet werden.

37. Bei *Durchströmung von Gliedmaßen mit Flüssigkeit von 45°* wird eine Erweiterung der peripheren Gefäße beobachtet, bei Durchströmung mit Flüssigkeit von 11,5° eine Verengerung der peripheren Gefäße. Die zentralen Hauptgefäße zeigen in beiden Fällen das entgegengesetzte Verhalten, sie schwächen also die hydrodynamische Wirkung der peripheren Erweiterung bzw. Verengerung auf den Gesamtkreislauf ab. Bei Erwärmung bzw. Abkühlung der Extremitäten von außen ist das Verhalten ein entsprechendes, doch tritt der Gegensatz zwischen zentral und peripher nicht ganz so ausgesprochen in die Erscheinung. Ist der Temperaturwechsel an den Gefäßen nur ein geringer, so bleibt die korrelative Veränderung an den zentralen Gefäßen aus. — An den Armen kann die korrelative Verengung der großen Arterien zum vermehrten Abfluß nach dem Kopf und Brustkorb hin führen.

38: Von *inneren Organen* ist eine bevorzugte Durchströmung erwärmer Organe beim Gehirn, bei Thymus und Lungen, schließlich an Leber und Nieren festzustellen; am Dünndarm hat ein vom Darmlumen aus wirkender mäßiger Wärmereiz Gefäßerweiterung zur Folge. — *Isolierte Organe* zeigen beim Eintauchen in warmes Wasser von 39—40° Verengung der kleinen Gefäße.

39. Der zusammengefallene Darm wird unter dem Einfluß der Wärme wieder drehrund und erhält die Eigenform wie beim Lebenden; dies geschieht sowohl, wenn der Darm durch die Bauchdecken hindurch *in situ* erwärmt wird, als auch, wenn er herausgeschnitten und auf warmes Wasser gelegt wird. Ausdehnung im Darmlumen befindlicher oder aus der Darmwand entbundener Gase kann nur eine Teilursache bei diesem Vorgang darstellen; im wesentlichen handelt es sich um Wiedergewinnung seines ursprünglichen Wandtonus. — Bei dem erwärmten

Darm kann nach Eröffnung der Bauchhöhle auch hier und da Riffelung seiner Oberfläche auftreten.

40. Die *verschiedene Viscosität* bei Durchströmungsflüssigkeiten verschiedener Temperatur muß auf die Geschwindigkeit der Durchströmung einen Einfluß ausüben, die Art der Verteilung ist aber nicht von ihr abhängig; der *ausschlaggebende Faktor* sowohl für die Geschwindigkeit der Durchströmung, als auch für die Verteilung in der Gefäßbahn ist die durch die Temperatur hervorgerufene Änderung in den Gefäßweiten.

d) Chemische Einflüsse.

Während die Wärme ebenso wie andere physikalische Faktoren (z. B. die Röntgenstrahlen) stets unmittelbar auf die Capillaren einwirken, gilt dies für die chemischen Faktoren, soweit sie von außen an den Körper herantreten, nur in bestimmten Fällen; so erfolgt der Austausch des Sauerstoffs in der *Lunge* so streng nach den Gesetzen der Diffusion, daß wir keinen Grund haben, einen fördernden oder hindernden Einfluß des Lungenepithels oder der Capillarwände auf diesen Vorgang anzunehmen; dieselbe Annahme gilt für den Austausch zwischen mütterlichem und kindlichem Organismus innerhalb der *Placenta*, und zwar nicht nur für den Austausch von Sauerstoff, sondern auch für das Hinübertauschen der im Blute der Mutter gelösten Nährstoffe. In den letztgenannten Fällen kann man also mit einer *unmittelbaren Einwirkung der von außen an die betreffenden Capillargebiete herantretenden chemischen Stoffe* rechnen. Anders ist dies mit chemischen Stoffen, welche auf die Haut oder die Schleimhäute aufgebracht werden; in diesen Fällen findet die *Einwirkung zunächst auf die Epithelien* statt, welche den chemischen Körper völlig ablehnen können, oder, falls sie ihn weiterleiten, ihn in seiner Beschaffenheit umzuwandeln vermögen. Beschränken wir uns bei der Anwendung physiologisch in Betracht kommender Reizstoffe — und auf solche ist in den folgenden Untersuchungen im wesentlichen unsere Aufmerksamkeit gerichtet — darauf, diese Stoffe auf Organoberflächen aufzubringen, so können wir eine Wirkung auf die Capillaren im Versuch nur erwarten, soweit die Epithelien auch am Überlebenden noch eine Weiterleitung dieser Stoffe und eventuell die geeignete Umwandlung zu leisten vermögen. Werden dagegen die chemischen Stoffe *in der Gefäßbahn den Capillaren zugeführt*, so vermögen sie eine unmittelbare Einwirkung auf die Gefäßwand auszuüben.

Die *erste Reihe*, die von außen wirkenden Stoffe, sind im wesentlichen diejenigen, von welchen wir einen *nutritiven Reiz (I)* auf die Epitheloberflächen und mittelbar einen solchen auf die kleinsten Gefäße erwarten können; es handelt sich hauptsächlich um die Einwirkung der *Nahrungsstoffe* auf Magen und Darm. — Ein „nutritiver

Reiz“ des „Nahrungsstoffes“ Sauerstoff auf das Lungenepithel kommt nicht in Betracht, ebensowenig (wie weiterhin in der zweiten Reihe) ein toxischer Reiz auf das Lungenepithel durch das „Abbauprodukt“ Kohlensäure, weil beide Stoffe nach rein physikalischen Gesetzen diffundieren; sie wirken im wesentlichen über die Gefäßbahn auf das Atemzentrum und erst auf dem Umwege über das Nervensystem und durch Vermittlung der Atemmuskulatur auf die Einatmung.

Die zweite Reihe umfaßt zunächst (IIa) die *Abbauprodukte (1. Gruppe)* von diesen müssen wir annehmen, daß sie einen toxischen Reiz zunächst auf die Gefäßwände und durch deren Vermittlung auf das Parenchym bestimmter Organe ausüben, welche ihre Umwandlung bzw. Ausscheidung übernehmen; hier kommt die Einwirkung der vom Darm ins Pfortaderblut gelangenden *Umwandlungsprodukte der Nahrung* auf die Gefäße der Leber, die Einwirkung der *Abbauprodukte des Blutes* auf die Milzgefäße und die Einwirkung der *Endprodukte des Eiweißabbaues* auf die Nierengefäße in Betracht. Wir können nicht ausschließen, daß die genannten Umwandlungs- und Abbauprodukte in den am Lebenden vorkommenden Konzentrationen auch auf die übrigen Gefäße außerhalb der ihrer Verarbeitung dienenden Organe Reizwirkungen ausüben; wir wissen, daß sie bei pathologischer Anhäufung eine Lähmung in ausgebreiteten Gefäßgebieten hervorzurufen vermögen. Eine regelnde Wirkung dieser Stoffe in ihren normalen Konzentrationen kann im wesentlichen nur hinsichtlich der Gefäße der betreffenden Verarbeitungsorgane erwartet werden, und zwar im Sinne einer Förderung der Blutdurchströmung. — (IIb) Während wir von den genannten Abbauprodukten eine Reizwirkung vorwiegend auf bestimmte Organe annehmen können, müssen wir der *chemischen Beschaffenheit des arteriellen, des venösen und des längere Zeit stagnierenden Blutes (2. Gruppe)* eine allgemeine Gefäßwirkung zusprechen. Hinsichtlich des arteriellen und des venösen Blutes handelt es sich um den verschiedenen Sauerstoff- bzw. Kohlensäuregehalt; wir dürfen ferner annehmen, daß bei vollkommen blutleeren Gefäßen noch ein besonderer Zustand der Gefäßwände infolge Fehlens des Sauerstoff- und Kohlensäurerereizes vorhanden ist. Beim stockenden Blut und bei dem im überlebenden Organismus die Gefäße füllenden Blut ist aber neben der Anhäufung von Kohlensäure eine Umwandlung der Blutbestandteile unter Bildung von toxischen Stoffen („Blutgiften“) vorauszusetzen, die in zunehmendem Maße entstehen und dementsprechend auf die Gefäßwand wirken. — (IIc) Außer den Gefäßreizen durch die vom Blute weitergetragenen physiologischen Abbauprodukte und den vom Blute selbst, z. B. bei der Stagnation ausgelösten „Eigenreizen“ auf die Gefäßwände gibt es noch eine *3. Gruppe* von toxischen Reizen, die „*Fremdreize*“, welche durch eine Anzahl dem Organismus fremder und mit ihm unter physiologischen Bedingungen nicht in Berührung kommender chemischer Stoffe, also

nur im Versuch, ausgelöst werden (Cocain, Novocain; Urethan; Amylnitrit); diese unphysiologischen Reizmittel sollen hier nur soweit Erwähnung finden, als sie dazu dienen können, die Reaktionsfähigkeit des überlebenden Gefäßsystems, dessen Verhalten unter physiologischen Einwirkungen wir untersuchen, im allgemeinen und in ihren Grenzen festzustellen.

Die Hauptaufmerksamkeit ist in unseren Untersuchungen einer **dritten Reihe** von chemischen Reizmitteln der Gefäße, den **(III) Hormonen**, zugewandt, die wir weder zu den nutritiven noch zu den toxischen rechnen können; in erster Linie kam das *Suprarenin* in Betracht, dessen mannigfaltige Wirkung auf verschiedene Gefäße, Gefäßgebiete und den Gesamtkreislauf seit den Veröffentlichungen von *Oliver* und *Schafer*, die mit Nebennierenextrakt arbeiteten (1894/95) und seit der Reindarstellung des Adrenalin durch *Günber* (1897) vielfältig untersucht worden ist. In zweiter Linie wurde das *Pituitrin* zu den Versuchen herangezogen, ein aus dem Hinterlappen der Hypophyse gewonnener, wahrscheinlich aber in ihrer Zwischenschicht gebildeter Stoff, dessen dem Adrenalin verwandte Wirkung auf die Gefäße zuerst *Howell* (1898) erkannt hat, die seither aber noch nicht in gleichem Maße wie die des Adrenalin näher klargestellt werden konnte (zumal es sich um keinen chemisch rein darstellbaren, wahrscheinlich überhaupt nicht um einen chemisch einheitlichen Körper handelt). *Krogh*¹ hält das Pituitrin für im wesentlichen übereinstimmend mit dem Hormon x, welches er als den eigentlichen Regulator des Kreislaufs ansieht.

Beobachtungen über das Verhalten bluthaltiger und blutleerer Gefäße (Blutgifte, II b).

Wie die Darlegungen des vorigen Kapitels gezeigt haben, sind thermische *Einflüsse auf die überlebenden Gefäße noch in gleichem Sinne und ähnlichem Ausmaße wirksam wie am Lebenden*. Dies gilt auch für eine Reihe der weiter anzuführenden chemischen Einwirkungen. Eingreifende Veränderungen, welche bald nach dem Tode des Individuums bzw. der Abtrennung des Gliedes an den Gefäßen beobachtet werden können, sind nicht eine Erscheinung des nur langsam erfolgenden Absterbens der Gefäßwand selbst, sondern eine Folge der Giftschädigung der Gefäßwand durch das *stagnierende Blut*, dessen Zerfall weit dem Absterben der zusammenhängenden Gewebe vorangeht. Es ist eine bekannte Erscheinung, wie rasch gestaute Leichenteile der Zersetzung verfallen; mit dieser Tatsache hängt ja auch die seit dem Altertum geübte Sitte zusammen, Schlachttiere möglichst völlig zu entbluten. Während die Arterien und die Capillaren beim natürlichen Tode den allergrößten Teil des Blutes, ehe es zur Stagnation

¹ *Krogh, A.:* Anatomie und Physiologie der Capillaren. S. 136 f. Berlin 1924.

kommt, nach den Venen hin entleeren, wird beim Ausbluten durch Verletzung großer Arterien das Blut aus dem sich ständig an Volumen verkleinernden Gesamtgefäßsystem sehr vollständig entleert. Gliedabschnitte, wie man sie durch Absetzung unter *Esmarcscher Blutleere* (Auswickeln mit einer Gummibinde und Abbinden mit einem Gummischlauch) erhält, sind ungefähr in gleichem Maße blutlos; von den Neugeborenen sind die nach Schädelperforation extrahierten Früchte in der Regel *völlig ausgeblutet*. *Derartige Leichen bzw. Leichenteile zeigen, auf Eis gelegt, nach drei Wochen noch keine wesentliche Veränderung und weisen nach dieser Zeit die in den Versuchen beobachteten Reaktionen noch in ungeschwächtem Maße auf*. Ist dagegen der Organismus mit Blut gestaut, zeigt z. B. das Neugeborene livide, gedunsene Beschaffenheit des Gesichts, der Gliedmaßen und der übrigen Haut, so tritt, auch wenn die Fäulnis ferngehalten wird, rasche Zersetzung ein und, ehe die Zersetzung bemerklich wird, erlöschen mehr oder minder rasch die capillaren Reaktionen. Ja die erst wenige Stunden alte Leiche zeigt in diesem Falle bei den Durchströmungsversuchen Abweichungen von der gewöhnlich beobachteten Flüssigkeitsverteilung im Kreislaufsystem. Die durch das stagnierende Blut bedingten Abweichungen bestehen im allgemeinen darin, daß die *Durchströmungsflüssigkeit in reichlicherem Maße in die mit Blut gefüllten Körperabschnitte vordringt*. Soweit es sich um nach dem Tode angesammeltes, d. h. also hypostatisches Blut handelt, ist häufig die eine Körperseite, entsprechend der Lage des Neugeborenen nach dem Tode bevorzugt; dies ist also bei Beurteilung der Versuchsergebnisse in Betracht zu ziehen (vgl. den Abschnitt: Methodik und Technik, S. 541). In typischen Fällen bezieht sich diese Bevorzugung nicht nur auf Kopf und Extremitäten der betreffenden Seite (K 23), sondern auf die gesamte *hypostatisch gefüllte Körperhälfte*, und zwar beim nichterwärmten (K 18) wie beim im Wasserbad erwärmten Kinde (K 20, 21); von den inneren Organen zeigt besonders die Lunge der unten gelegenen Körperseite in gleicher Weise wie die Brustwand neben der reichlicheren Blutfülle verstärkte Injektion mit dem Durchströmungsmittel. *Bei hochgradig plethorischen Kindern* — gewöhnlich männlichen Individuen von hohem Körpergewicht, welche an Erstickung gestorben waren — ist nicht nur die Haut stark livide gefärbt, sondern es besteht auch ein hoher Blutreichtum der inneren Organe; hier drang die Farblösung besonders in die blutreiche Milz und beide Nieren in stärkerem Maße vor (K 8, 20); an denselben Individuen wird aber die ebenfalls plethorisch mit Blut gefüllte Lunge auch bei reichlicherer Durchströmung des Körpers mit Farblösung nicht besonders stark gefärbt, ja, sie kann beim nichterwärmten Kinde ausgesprochen schwach gefärbt sein.

Die Einwirkung toxischer Einflüsse auf die Capillarwand lässt sich besonders deutlich an *septischen bzw. Erysipelleichen* beobachten, bei

denen zuweilen die Hautcapillaren in ausgedehnten Gebieten mit Blut gefüllt bleiben. In einem solchen Falle, bei welchem eine *feurige helle Rötung* beide Oberschenkel überzog, neben der auch venös hyperämische Flecken an der vorderen Rumpfseite vorhanden waren (die sich deutlich von ebenfalls daselbst vorhandenen Sugillationen unterschieden), war die Rötung durch Fingerdruck nur unvollkommen zum Schwinden zu bringen; außer der toxischen Lähmung der Capillaren, durch welche die finale Kontraktion verhindert worden war, hatte also auch bereits wenige Stunden nach dem Tode eine Zersetzung des Blutes mit *Übertritt von Blutfarbstoff in die Gefäßwand* stattgefunden.

Wenn wir dem nicht lebensfrischen Blut einen solchen Einfluß auf die Gefäßwand zuzuschreiben haben, so ist bei *Durchströmungen der Versuchsobjekte mit Tierblut* dieser Umstand ebenfalls nicht außer acht zu lassen; praktisch spielt er aber wohl keine nennenswerte Rolle, da es sich ja um ganz kurzzeitige Durchströmungen handelte und die Untersuchung vorgenommen wurde, ehe eine länger dauernde Berührung zwischen Blut und Gefäßwand stattgefunden hatte. Um störende Einflüsse möglichst auszuschalten, wurde in der Regel frisches (bis zu 24 Stunden altes) Tierblut verwendet. Auch bei frischem Tierblut ist allerdings die Wirkung des körperfremden Eiweißes in der Blutbahn nicht zu vermeiden, welche ebenfalls toxischen Charakter hat. Auch diese Wirkung kommt aber infolge der Kürze der Zeit, für welche Blut und Gefäßwand im Versuch miteinander in Berührung bleiben, praktisch nicht in Betracht; bei den Versuchen am Überlebenden wurden keine Abweichungen im Verhalten der Gefäße gesehen, die man auf das Tierblut hätte zurückführen können. — *Am lebenden Menschen*, bei welchem wir zu Behandlungszwecken frisches Tierblut häufig einspritzten, zeigten sich besonders bei der Einspritzung in der Nähe blutreicher Gewächse am Gesicht allerdings Kontraktionen von mehr oder minder ausgedehnten Capillargebieten der Haut; diese kennzeichneten sich aber durch ihr wellenartiges Fortschreiten als unter Einwirkung des Nervensystems stehende, also nur beim Zusammenspiel aller Lebensvorgänge eintretende Reaktionen. Außer der Wirkung auf das Nervensystem kommen hierbei im lebenden Organismus anaphylaktische Wirkungen in Betracht.

Im Gegensatze zu der reichlicheren Durchströmung mit stagnierendem Blut bereits gefüllter, durch die toxische Lähmung aber stark erweiterter Gefäßgebiete steht eine *bevorzugte Durchströmung*, welche unter gewissen Umständen gerade besonders anämische Körpergegenden erfahren; es handelt sich aber hierbei im wesentlichen nur um Gebiete, die *durch einen Druck von außen blutarm* geworden sind, wie sie ja auch als Druckstellen inmitten von hypostatisch gefüllten Hautflächen vorkommen. An den ohne eine solche Druckwirkung nur *durch Eigenkontraktion der Capillaren anämischen Gebieten* bedarf

es gewöhnlich einer besonderen Reizwirkung, um sie für die Durchströmungsflüssigkeit gut zugänglich zu machen. Dies gilt auch besonders für die hochgradig blutleeren, nach Schädelperforation extrahierten Neugeborenen. Bei diesen bleibt (wenn keine besonderen Capillarreize ausgeübt werden) die sehr weiße Haut und die Muskulatur, welche eine dem Fischfleisch ähnliche helle Farbe hat, annähernd frei von Durchströmungsflüssigkeit; dasselbe gilt auch für die Milz. Die Lungen zeigen dagegen in einem solchen Falle reichliche Gefäßfüllung durch den Farbstoff. *Das ausgeblutete Kind zeigt also ein gegensätzliches Verhalten zu dem plethorischen*, indem bei jenem die Durchströmung der Lunge bevorzugt ist, während bei diesem die Organe der Bauchhöhle und die Haut trotz ihrer bereits reichlichen Blutfüllung eine bevorzugte Zufuhr der Durchströmungsflüssigkeit erfahren.

Man hätte erwarten können, daß sich die *Lungencapillaren* gegenüber der Durchströmung verschieden verhalten würden, wenn das Kind geatmet hat und wenn es nicht geatmet hat; dies bestätigte sich aber nicht. Unter 34 Neugeborenen, von denen bei der Autopsie der Luftgehalt der Lunge durch die Schwimmprobe festgestellt wurde, erwies sich die Lunge bei 19 Kindern, die geatmet hatten, in 8 Fällen als nicht farbinjiziert; von diesen waren 5 nicht im Wasserbad erwärmt worden. Von den 15 Kindern, die nicht geatmet hatten, waren 4mal die Lungen nicht gefüllt; von diesen war eines nicht im Wasserbad erwärmt worden. Stellen wir die Bedingungen, welche für ein *leichtes Durchströmtwerden* der Lungencapillaren beim überlebenden Neugeborenen maßgebend sind zusammen, so ergibt sich eine bevorzugte Durchströmung 1. *bei Wärmeeinwirkung*, 2. *bei hochgradiger Blutarmut* des Gefäßsystems, 3. *bei halbseitiger postmortaler Blutsenkung* in der hypostatischen Lunge. Die verhältnismäßige Begünstigung der Durchströmung beim Hinzufügen von Suprarenin bzw. Pituitrin zur Durchströmungsflüssigkeit wird weiter unten besprochen werden. Die Durchströmung der Lunge wird eingeschränkt bzw. gehindert 1. durch *Abkühlung der Gewebe* (Durchströmung bei Zimmertemperatur), 2. beim *plethorischen Kinde*, 3. *in der zusammengefallenen Lunge* (bei einseitiger Pleuraverletzung).

Die Einwirkungen des in den Gefäßen verbliebenen körpereigenen Blutes beziehen sich auf komplexe Ursachen, deren einzelne Anteile (Eiweißtoxine, Kohlensäure) nicht auseinandergelegt werden konnten. Ich habe mich darauf beschränkt, festzustellen, welchen Einfluß das stagnierende Blut auf die Durchströmbarkeit der Capillaren hat; diese Feststellung ist erforderlich, um ein Verhältnis für dasjenige *Durchströmungsbild beim überlebenden Neugeborenen* zu ermöglichen, welches sich bietet, wenn keine besonderen *Versuchsbedingungen eingeführt* werden.

Im folgenden sollen eine Reihe von Versuchen besprochen werden,

bei denen das *Verhalten der Gefäßgebiete des Neugeborenen unter Einwirkung näher bestimmter chemischer Stoffe* vergleichend untersucht wurde.

Versuche, mit Milch und Pepton einen nutritiven Reiz (I. Reihe, siehe oben) am Darm auszulösen.

Versuche, durch einen **nutritiven Reiz auf eine Schleimhautfläche** Veränderungen in dem betreffenden Capillargebiet hervorzurufen, wurden in der Weise ausgeführt, daß Milch mit oder ohne einen Zusatz von Pepton nach Freilegung des Bauchfells durch dieses hindurch in eine der sichtbaren Dünndarmschlingen in geringer Menge (1—3 ccm) mit einer Spritze eingeführt wurde; wie der Augenschein lehrte, verblieb die Milch örtlich in einem deutlich abgegrenzten Dünndarmabschnitt. In einem solchen Falle (K 9) wurde bei einer 1100 g schweren Frühgeburt, bei welcher die methylenblaugefärbte Gummiarabicumlösung bis in das Mesenterium des gesamten Dünndarms gelangt war, keine bevorzugte Durchströmung der Gefäße an der Wand der die Milch enthaltenden Darmschlinge beobachtet, es trat nur eine feinmaschige Rötung auf der Serosaseite des Darms in diesem Gebiete hervor, ein Übertritt von Blut in den capillaren Venenplexus. In anderen entsprechenden Versuchen (K 6, 41) wurde ebenfalls keine bevorzugte Durchströmung wahrgenommen und auch keine Verschiebung des Blutes in den kleinen Gefäßen beobachtet. Wird eine durch Unterbindungen isolierte Darmschlinge etwas reichlicher mit Milch gefüllt, so kann durch die Druckwirkung des Inhalts auf die Wand das Gefäßgebiet der mit Milch gefüllten Schlinge bei der Durchströmung der Gefäße sogar gegenüber den Nachbarschlingen zurückbleiben. Über die gefäßerweiternde Wirkung des nutritiven Reizes am Darm des lebenden Versuchstieres vergleiche die Versuche im Hauptabschnitt I und die bildliche Darstellung gleichartiger Versuche im Hauptabschnitt III.

Beobachtungen über Wirkung der Abbauprodukte des normalen Stoffwechsels (II a).

Versuche, mit einem **Abbauprodukt — dem Harnstoff — von der Gefäßbahn aus** eine Reizwirkung auf die überlebenden Capillaren auszuüben wurden zunächst in der Weise vorgenommen, daß die Aorta zwischen dem Abgang der rechten und linken Nierenschlagader unterbunden und jede der beiden Nieren mit der gleichen Flüssigkeit unter dem gleichen Druck durchströmt wurde, *auf der einen Seite unter Zusatz von Harnstoff, auf der anderen Seite ohne einen solchen Zusatz*. Diese Versuche ergaben eine geringere Durchströmung auf der von harnstoffhaltiger Gummiarabicumlösung durchflossenen Seite bei den angewandten ziemlich erheblichen Konzentrationen. — In anderen Versuchen wurde der Gesamtkörper *mit harnstoffhaltiger Flüssigkeit* durchströmt. So wurden in einem Falle einem Vorlauf von 50 ccm farbloser Gummi-

arabicumlösung der mit $1\frac{1}{2}$ g Harnstoff versetzt war, 40 ccm schwarzer Gummiarabicumlösung nachgeschickt; hierauf wurden nochmals 50 ccm farblose und 40 ccm blaugefärbte Gummiarabicumlösung, diese ohne Harnstoffzusatz eingelassen. Wie Vergleichsversuche lehren, bei denen dieselben Bedingungen der Durchströmung eingehalten wurden, aber der Durchströmungsflüssigkeit kein Harnstoff zugesetzt war, zeigen die Nieren, welche rasch durchströmt zu werden pflegen, stets die zweite, zuletzt eingeströmte Farblösung in ihren Gefäßen. In dem vorliegenden Falle dagegen waren beide Nieren von der zuerst eingeführten schwarzen Flüssigkeit reichlich gefüllt, und zwar im Rindenteil, um die Papillen herum, wie auch am Nierenbecken; die an zweiter Stelle eingeführte Blaulösung war nicht in die Nieren eingedrungen; die Nierengefäße waren also von der ersten Portion, die der Harnstofflösung unmittelbar folgte, *reichlich gefüllt*, sie waren aber weiterhin nicht mehr nennenswert durchströmt worden (K 41c). Der Vorgang entspricht also einer Blutüberfüllung mit verlangsamter Durchströmung. Einen *ähnlichen Zustand der Niere* haben Richards und Plant¹ beim lebenden Tiere beobachtet, wenn geringe Mengen von Adrenalin in den Kreislauf eingebracht wurden: verstärkte Füllung, verlangsame Durchströmung, erhöhter Filtrationsdruck und infolgedessen Vermehrung der ausgeschiedenen Harnmengen; sie erklären den Befund durch eine Zusammenziehung der Vasa efferentia an den Glomeruli.

Mautner und Pick² beobachteten einen entsprechenden, als „*Stauungshyperämie*“ anzuschenden Vorgang an der Leber und bringen ihn mit wichtigen Funktionen dieses Organs in Verbindung. Nach ihren Versuchen löst die Einführung einer hypotonischen Salzlösung in die Pfortader den sog. „*Sperrmechanismus*“ in den Lebervenen aus, bei welchem durch Zusammenziehung der Venen die Weite und der Füllungszustand der stroma auf liegenden Lebergefäß zunehmen und der Druck darunter erhöht wird; hierdurch findet eine verstärkte Filtration in die Lebercapillaren umgebenden Lymphräume statt, wodurch die nach reichlicher Flüssigkeitsaufsaugung zu erwartende Hydrämie und vorzeitige Abgabe des aufgenommenen Wassers durch die Niere vermieden wird. Die aus den Dünndarmcapillaren der Leber zugeführten Eiweißspaltprodukte — *Pepton* und *Histamin* (dieses eventuell aus bakterieller Zersetzung stammend, Ebbecke) —, welche ein normales Produkt der Wand des Dünndarms darstellen (Krogh³), rufen in der Leber fleischverzehrender Tiere eine starke *Verengerung der abführenden Gefäße* hervor, wodurch der Abfluß verringert und das Organvolumen vergrößert wird (Baer und Rössler⁴); der erhöhte Gefäßdruck und gleich-

¹ Richards u. Plant: Amer. J. Physiol. 59, 184 u. 191 (1922).

² Mautner u. Pick: Münch. med. Wschr. 1915, Nr 34; Biochem. Z. 127, 72 (1922).

³ Krogh nach: Barger u. Dale: J. of Physiol. 41, 499 (1911).

⁴ Baer u. Rössler: Arch. f. exper. Path. u. Pharmakol. 97, 306 (1923).

zeitig die unter Einfluß des Histamins vermehrte Durchlässigkeit des Capillarendothels führen zu einem verstärkten Übertritt von Blutflüssigkeit in das Gewebe. Die giftigen, der Leber zugeführten Stoffe erzeugen also in ihr auf Grund des „Sperrmechanismus“ eine vermehrte *Filtration*, welche diese für den großen Kreislauf schädlichen Stoffe aus der Blutbahn beseitigt. Der gleiche Vorgang scheint sich nach den obigen Versuchen an der Niere abzuspielen, nur daß hier das schädliche Abbauprodukt, der Harnstoff, in nach außen führende Abflußkanäle geleitet wird.

Gelangen Abbauprodukte, wie das *Histamin*, durch Versagen der Leberfunktion in größerer Menge außerhalb der Pfortaderbahn in den großen *Kreislauf*, so müssen sie hier diejenigen *Giftwirkungen* auslösen, welche Dale und Laidlaw¹ bei der direkten Einführung von 1—2 mg Histamin pro Kilogramm Körpergewicht an Katzen beobachteten; rasches Absinken des arteriellen Blutdrucks durch Ansammlung des größten Teiles des Blutes in den gelähmten Capillaren und Venchen, besonders in den Baucheingeweiden, außerdem aber auch in der Skelettmuskulatur; die Durchlässigkeit der Capillarwand ist gesteigert, das Blut wird eingedickt. Die klinischen Zeichen des Zustandes sind: starke Pulsbeschleunigung und cyanotische Blässe der Haut. Dies ist das typische Bild des *Kreislaufschocks*, wie es dem Arzte als traumatischer Schock bekannt ist; bei den Kollapszuständen nach Verbrennungen und Verbrühungen handelt es sich offenbar um entsprechende Vorgänge, da in allen diesen Fällen giftig wirkende Stoffe, welche aus Eiweißprodukten entstehen, unmittelbar im großen Kreislauf zur Verteilung gelangen.

Ein weiteres Abbauprodukt des Körpers, welches ähnlich dem Histamin einen erheblichen Einfluß auf die Kreislaufverhältnisse hat, ist das *Cholin*. (Acetylcholin); auch dieses hat blutdrucksenkende Eigenschaften, welche aber nicht auf einer Erweiterung der Capillaren, sondern auf einer Erweiterung der Arteriolen beruhen. Das Cholin wird in den Extraktten wohl sämtlicher Körperorgane gefunden. Nach Krogh vermag es, in den Kreislauf einer Katze gebracht, ebenso wie das Histamin den Blutdruck auf 40—50 mm herabzusetzen. Während aber bei dem Histamin das Schlagvolumen des Herzen ständig abnimmt, kann es bei Acetylcholin völlig ausreichend bleiben; es findet keine übermäßige Blutverschiebung nach den Venen zu statt. Nach Aussetzen der Infusion erholt sich der arterielle Druck bei Acetylcholin rasch, während beim Histamin ein Kreislaufschock die Folge ist².

Auf diese in den letzten Abschnitten besprochenen *toxischen* Stoffe, welche als *Abbauprodukte* aus dem Körper selbst stammen, sollte in den vorliegenden Untersuchungen nicht im einzelnen eingegangen werden,

¹ Dale u. Laidlaw: Histamine shock. J. of Physiol. 52, 355 (1919).

² Krogh: Anatomie und Physiologie der Capillaren, S. 99f. Berlin 1924.

da sie besonders diejenigen an den Gefäßen wirksamen Reize im Auge hatten, welche einen die Durchströmung *jördernden* Faktor darstellen. Es schien aber wünschenswert, einige dieser Stoffe, welchen ein großer Einfluß auf die Regelung der gesamten Kreislaufverhältnisse zugeschrieben werden muß, hinsichtlich ihrer wichtigsten Wirkungen — über viele Einzelheiten bestehen erhebliche Widersprüche bei den einzelnen Autoren — vergleichend heranzuziehen.

Wirkung einiger körperfremder Substanzen (IIc).

Derselbe Gesichtspunkt gilt hinsichtlich der Erörterung der „*Fremdreize*“ welche ja in der großen Mehrzahl nur eine den Blutumlauf störende und daher rein experimentelle Bedeutung haben; aber auch soweit einzelnen dieser Fremdreize eine kreislauffördernde Wirkung zugeschrieben werden kann, liegen sie außerhalb unserer auf die physiologisch vorkommenden Reize eingestellten Untersuchungen; es soll hier nur auf zwei derartige Stoffe kurz eingegangen werden, welche, ebenso wie die vorgenannten unmittelbar auf die Gefäßmuskulatur einwirken und deren Wirkungen demgemäß auch am überlebenden Organismus zu beobachten sind, das *Bariumchlorid* und das *Amylnitrit*; jenes ist ein die Gefäße verengendes Mittel, welches eine durchgängige Konstriktionswirkung für die Gefäße aller Organe zeigt und die aus dem Körper stammenden Mittel an Wirkungsstärke weit hinter sich läßt; dieses bewirkt Gefäßerweiterung in allen Organen ebenfalls in einem Maße wie kein vom Körper selbst hervorgebrachter Stoff. Beide stellen äußerste Gegensätze dar, zwischen denen sich die unter physiologischen Verhältnissen auftretenden toxischen und hormonalen Stoffe nach ihrer verschiedenen Wirkungsweise einreihen lassen. (Hinsichtlich des Amylnitrits muß auf die bildlichen Darstellungen im später erscheinenden Tafelbande verwiesen werden [vgl. S. 542].)

Übersicht über die Wirkung einiger unmittelbar an der Gefäßmuskulatur angreifender Substanzen.

Eine *Übersicht* der von den genannten Stoffen bekannten Gefäßwirkungen unter Heranziehung der Wirkungen der wichtigsten Gefäßhormone — *Adrenalin* und *Pituitrin* — und der auf die Gefäße wirkenden Abbauprodukte gibt die folgende *Tabelle* (S. 660/61). Von den den Kreislauf beeinflussenden Stoffen sind die vorwiegend verengenden — die *Hormone* — auf der linken Seite der Tabelle aufgeführt, die vorwiegend erweiternden — die *toxischen Abbauprodukte* — auf der rechten Seite. Zwischen beiden steht die *Kohlensäure*, welche die Gefäße bei unmittelbarer Einwirkung erweitert, sie aber bei Gegenwart von Adrenalin und auf dem vasomotorischen Wege verengt. Die körperfremden Stoffe — *Bariumchlorid* und *Amylnitrit* — begrenzen beiderseits das Übersichtsblatt als Extremfälle von Stoffen, welche wie die übrigen unmittelbar auf die Gefäßmuskulatur zu wirken vermögen. —

Die verschiedenen *Organe*, deren Gefäße sich ja unter gleichen chemischen Einwirkungen vielfach gegensätzlich verhalten, sind *nach Systemen geordnet* untereinander aufgeführt. Dem *Lungenkreislauf* steht im Verhalten der Gefäße der Körperkreislauf in vielen Beziehungen gegenüber. Hinsichtlich des Körperkreislaufs mußten die fünf Kreislaufgebiete (*Coronarkreislauf*, *Hirnkreislauf*, *Pfortaderkreislauf*, *Harneschlechtskreisläufe und Gliedmaßenkreisläufe*) gesondert betrachtet werden, weil sie ebenfalls in vieler Hinsicht funktionelle Besonderheiten im Verhalten der Gefäße gegenüber chemischen Einflüssen aufweisen. Die fünf genannten, physiologisch zu sondernden Kreislaufgebiete, welche zusammen den großen Kreislauf ausmachen, sind hinsichtlich ihrer allgemeinen Durchströmungsgröße und Durchströmungsverhältnisse bereits auf S. 573—575 besprochen worden. — Am leichtesten verständlich würde eine entgegengesetzte Wirkung der *Kohlensäure* auf die Lungengefäße einerseits und die übrigen Körpergefäße andererseits sein; tatsächlich wurde im Tierversuch eine Erweiterung der Lungengefäße bei Durchströmung mit Blut, welches Adrenalin in physiologischen Konzentrationen enthielt, beobachtet; der Kohlensäuregehalt würde also die Ursache vermehrter Durchströmung und rascherer Beseitigung der Kohlensäure aus dem Körper sein; hiermit stimmt die Beobachtung überein, daß bei Füllung der Alveolarräume mit Sauerstoff die Durchströmungsgröße dauernd abnimmt. Hinsichtlich der Gefäße des großen Kreislaufs wurde demgegenüber durch die Kohlensäureeinwirkung Verengerung beobachtet, und zwar durch den Einfluß des vasomotorischen Zentrums; die Kranzgefäße und Hirngefäße machen aber eine Ausnahme, indem sie sich unter CO_2 -Einfluß wie die Lungengefäße erweitern. — Ein ähnliches Verhältnis zeigt sich beim *Adrenalin*, welches im Lungenkreislauf geringe oder keine Wirkungen auf die Capillaren ausübt, im Pfortaderkreislauf, Harneschlechtskreislauf und Gliedmaßenkreislauf dagegen allgemein verengend wirkt. Die Coronargefäße nehmen auch hier wieder eine Sonderstellung ein, indem sie sich im Tierversuch wie bei der *Sympathicuswirkung* durch Tonusabnahme erweitern; beim Menschen sollen sich allerdings auch die Coronargefäße auf Adrenalin verengen (*Barbour*). Auch der Hirnkreislauf bewahrt hier seine Sonderstellung; die Gefäße der Hirnoberfläche verengen sich nicht beim Auftropfen von Adrenalinlösung; die im Tierversuch beobachtete Einengung der Strombahn im Gehirn wird von *Bayliss* als ein Vorgang der *Selbstregelung* aufgefaßt in der Weise, daß die durch Verengung der Splanchnicusgefäße eintretende Blutdrucksteigerung eine Zusammenziehung der muskulösen Hirngefäße auslöst. — Noch weniger durchsichtig sind bisher die Korrelationsverhältnisse beim *Pituitrin*, das im Lungenkreislauf und Körperkreislauf allgemein eine Verengerung auslöst, die aber bei den Hirngefäßen weiterhin durch eine Erweiterung abgelöst werden kann; auf die freiliegenden Piagefäße aufgeträufelt verursacht es keine

Ta-

Angriffspunkt	<i>Bariumchlorid:</i>	<i>Adrenalin:</i>	<i>Pituitrin:</i>
	Gefäßmuskulatur	Gefäßmuskulatur	Gefäßmuskulatur und Vagus
A. Pulmonalkreislauf:	Arterien und <i>Arteriolen</i> Kontraktion. <i>Capillaren</i> nicht beeinflußt. Venen sehr wenig beeinflußt.	Arterien, Kontraktion (?). <i>Capillaren</i> geringe oder keine Wirkung.	<i>Lungengefäße</i> , Kontraktion.
B. Körperkreislauf:	Wie Lungenkreislauf.		<i>Arterien</i> , Verengung. <i>Capillaren</i> , Verengung.
I. <i>Coronarkreislauf:</i>	Verengerung.	Erweiterung.	Verengerung.
II. <i>Hirnkreislauf:</i>	Verengerung.	Erweiterung (?). Jedoch Verengerung gegenüber dem erhöhten Blutdruck.	Zunächst verengt, dann erweitert.
III. <i>Darm</i> (Pfortader)kreislauf:		Darmgefäße, starke Kontraktion.	Zuführende Arterie proximal eng, distal weit. Verengerung.
Magen-Darm:			
Milz:	Verengernd.	Kontraktion von Gefäßmuskulatur, Trabekel, Kapsel.	Verengerung.
Pankreas:		Verengt.	Verengerung.
Leber:	Verengernd.	<i>Präcapillaren</i> verengt.	Schwächer verengernd als nach Adrenalin.
IV. a) <i>Nebennieren:</i> b) <i>Nieren:</i>	Wenig beeinflußt. Verengernd.	Schwach verengend. Starke Verengung zunächst der Vasa efferentia; rascher gelöst als beim Darm. Verengerung.	Erweiterung. <i>Arterien</i> : proximal eng, distal weit. Allgemein Erweiterung.
c) <i>Genitalkreislauf:</i>			
V. <i>Gliedmaßenkreislauf:</i>			
Haut:		Starke Verengerung bis zur Nekrose.	Verengerung.
Muskulatur:		Verengerung geringer als an der Haut; eventuell auch Erweiterung.	

deutliche Veränderung. An der Niere bewirkt es Zunahme der Durchströmungsgröße; auch an den Nierengefäßen wird Erweiterung beobachtet. Besonders bemerkenswert ist die beim Pituitrin wahrzunehmende Eigenschaft, das proximale Ende der Arterie zu verengen, das distale

Tabelle 9.

<i>Kohlensäure:</i>	<i>Acetylcholin:</i>	<i>Histamin:</i>	<i>Amylnitrit:</i>
Gefäßmuskulatur und Vasomotorenzentrum. Viscosität!!	Gefäßmuskulatur und Herz. — <i>Arterien</i> erweitert, <i>Capillaren</i> unverändert	Gefäßmuskulatur. <i>Capillaren</i> und <i>Venchen</i> erweitert. <i>Arteriolen</i> verengt	Gefäßmuskulatur; zentrale Wirkung zweifelhaft
Erweiterung, wenn Adrenalin in physiologischen Mengen im Blut, sonst Verengung.	Erweiterung. Durchflußmenge nimmt ab.	Verengerung.	Zunahme des Druckes im arteriellen und venösen Teil. Erweiterung.
Erweiterung.	Bei geringer Dosis Erweiterung, bei starker Dosis Verengerung. Erweiterung (?).	Erweiterung der <i>Capillaren</i> , eventuell auch der <i>Arteriolen</i> . Verengernd.	Erweiterung.
Erweiterung.	Erweiterung (?).	In phosphorsaurer Lösung erweiternd.	Erweiterung.
			Starke Erweiterung.
	Erweiterung. Erweiterung.	<i>Capillaren</i> erweiternd.	
	Leicht verengend. Erweiterung.	Verengerung des abführenden Schenkels der Strombahn. Leicht verengend. Gefäßverengend bei gleichzeitigem Absinken des Blutdrucks.	Ohne Einfluß auf die Gefäße. Erschlaffung.
	Erweiterung.		Erweiterung.
Unmittelbar erweiternd, vasomotorisch verengend.		Subcutan beim Lebenden erweiternd. Kontraktion der <i>Venulen</i> (Quaddel).	Starke Erweiterung.
			Erhebliche Erweiterung.

zu erweitern, ein Vorgang, den *Pal* an der Nierenarterie, *Cow* an den Arterien von Leber, Milz und Magen beobachtete. — Wir wissen, daß im venösen Blut der Sauerstoff noch nicht zur Hälfte verbraucht ist, und daß der Gehalt an Kohlensäure um etwa 15% gegenüber dem Gehalt im

arteriellen Blut zugenommen hat; es findet also *nur ein teilweiser Austausch des im Blute vorhandenen Sauerstoffs bzw. der vorhandenen Kohlensäure im Lungen- wie im Körperkreislauf statt*; beide Stoffe sind stets gleichzeitig in allen irgendwo im Körper verteilten Blutmengen vorhanden. Vom Adrenalin, welches ständig von der Nebenniere abgegeben wird, wissen wir, daß es beim ruhenden Körper im Blutstrom der unteren Hohlvene nicht mehr nachweisbar ist, bei starker Erregung aber in dem arteriellen Blute und selbst im Blute der Vena femoralis mit denselben Methoden nachgewiesen werden kann, während gleichzeitig eine ausgiebige Gefäßzusammenziehung eintritt. Das Adrenalin gelangt also unter gewissen Umständen verstärkter Körperfunktion zweifellos in die Arterien und Capillaren, die wir als Angriffspunkte seiner Wirkung ansehen müssen; wir müssen aber annehmen, daß *das Adrenalin rasch wieder aus dem Blutkreislauf entfernt* wird, da es bei der ständigen Absonderung des Stoffes durch die Nebenniere sonst zu einer Anhäufung kommen müßte; es liegt also nahe, die rasche Resorption und Umsetzung in der Gefäßwand, vielleicht auch eine Zerstörung überschüssigen Adrenalins im Blute selbst als die Ursache des ständigen Wiederverschwindens von Adrenalin anzusehen. — Das *Pituitrin* wirkt auf die Gefäße *schwächer und langsamer* als das Adrenalin; andererseits klingt die Wirkung auch weniger rasch ab als bei diesem; hierauf beruht die beim Kaninchen beobachtete Fähigkeit des Pituitrins, bei gemeinsamer Wirkung mit Adrenalin die Wirkungsdauer des letzteren erheblich zu verlängern; immerhin *schwindet auch* dieser Körper *rasch wieder aus dem Kreislauf*. — Das *Histamin* als normales Abbauprodukt des Organismus kann seiner Herkunft aus dem Dünndarm gemäß *nur in dem portalen Abschnitt des großen Kreislaufs* unter physiologischen Bedingungen erwartet werden; es führt durch den erwähnten Sperrmechanismus zur Stromverlangsamung *in der Leber*, welche wahrscheinlich eine Bedingung für die *völlige Zerstörung dieses Gefäßgiftes* ist, das normalerweise nicht in den übrigen Kreislauf eindringt.

Nach dieser *Übersicht über die im Schrifttum niedergelegten Tierversuche, aus denen sich eine unmittelbare Wirkung wichtiger chemischer Eigenreize (durch Abbauprodukte), Fremdreize und hormonaler Reize auf die Gefäßmuskulatur ergibt*, kehren wir zu unseren eigenen Beobachtungen über die Wirkung solcher Reize am überlebenden menschlichen Organismus zurück.

Versuche mit außerhalb der Gefäßbahn eingebrachten Stoffen.

Voran seien einige Beobachtungen angeführt, wie sich die Gefäße *am überlebenden Organismus* auf in das Gewebe, also *außerhalb der Gefäßbahn eingebrachtes Adrenalin* verhalten. Die Versuche wurden hauptsächlich an der Haut von frisch abgesetzten Gliedmaßen angestellt, aber auch an der *Körperoberfläche* von überlebenden Neugeborenen und der Oberfläche von parenchymatösen Organen. In der bei lokaler

Anwendung zu therapeutischen Zwecken üblichen starken Konzentration erzeugt Adrenalin am Überlebenden einen *Bezirk starker capillärer Zusammenziehung in gleicher Weise wie am Lebenden*. Erfolgt die Einspritzung während einer Durchströmung mit gefärbter Gummiarabicumlösung oder mit Blut, so tritt sofort starkes Ablassen an der Einspritzungsstelle ein, erfolgt sie vor einer solchen Durchströmung, so tritt in das adrenalingetränkte Gebiet keine Durchströmungsflüssigkeit ein. Diese „Anämie“ erhält sich gegenüber einer Durchströmung des Gefäßsystems unter einem Druck am Hauptgefäß, der den physiologischen übersteigt; wird die betreffende Stelle bei Andauer des gleichen Gefäßdrucks erwärmt, so bleibt die Gefäßzusammenziehung trotzdem bestehen; erst allmählich, im Laufe von Viertelstunden, klingt der Gefäßkrampf ab. Bei hoher Konzentration der Adrenalinlösung kann der capilläre Krampf auch nach 24 Stunden noch unverändert andauern. Ist an einem abgesetzten Glied durch wiederholte Gefäßdurchströmungen die capillare Reaktion derartig beeinträchtigt, daß die Spontanentleerungen der Capillaren nicht mehr erfolgen (vgl. S. 608, 627, 631), so löst doch eine Adrenalineinspritzung in das Gewebe immer noch eine Zusammenziehung der Capillaren aus. Auch wenn durch Behandlung der Haut mit heißem Wasser von 70—80° die *Fähigkeit der Capillaren zur Selbstentleerung zum Erlöschen gebracht* ist, ja sogar wenn durch eine solche Behandlung mit hohen Wärmegraden die oberste Epithelschicht wie bei einer Verbrennung zweiten Grades zur Abhebung gekommen ist, bewirkt eine Adrenalineinspritzung immer noch eine erhebliche Ablassung; bei derartigen Verbrühungen dringt eine die Gefäße durchströmende Methylenblaulösung regelmäßig durch die Gefäßwände in das Gewebe, hindurchströmendes Tierblut verändert sich mißfarbig; die einmal das Gewebe durchtränkende Blaufärbung bleibt natürlich von der Capillarzusammenziehung unbeeinflußt, sie durchtränkt aber im wesentlichen die oberste Epithelschicht und kann durch Abziehen derselben großen Teils mit entfernt werden, wodurch die Ablassung im adrenalingetränkten Gebiet noch deutlicher im Verhältnis zur Umgebung zutage tritt. Im Gebiete einer durch Novocain- oder Cocaineinspritzung erzeugten Quaddel bleibt bei Durchspülung mit einer gefärbten Flüssigkeit am überlebenden Organ zunächst ein farbloser Fleck bestehen; wird aber das Gefäßsystem einige Zeit durchspült und läßt man gar Wärme auf die unter Novocaineinfluß stehende Gegend einwirken, so färbt sich dieser Bezirk im Gegensatz zur Adrenalinquaddel schließlich in gleichem Maße wie die übrige durchströmte Haut. Bläßt nun nach Unterbrechung der Durchströmung die übrige Haut durch Eigenkontraktion der Capillaren wieder ab, so bleibt dieser *gelähmte Gefäßbezirk mit gefärbter Flüssigkeit gefüllt*. Ähnlich verhalten sich andere eine Lähmung der Capillaren hervorrufende Arzneimittel, so besonders das Coffein, das Urethan und das Histamin.

Die örtlichen Einspritzungen von Adrenalin und Pituitrin oder von körperfremden Stoffen unter die Haut haben für die Erforschung der natürlichen Verteilung des Blutes keine unmittelbare Bedeutung; ihre häufigere Anwendung bei den Durchströmungsversuchen, besonders die Bildung einer Quaddel mit konzentriertem Adrenalin, hat aber den Vorteil geboten, daß auf diese Weise stets ein Überblick gewonnen werden konnte, ob an dem betreffenden Organismus überhaupt noch capillare Reaktionen zu erwarten waren. Auch wenn die Zersetzung schon etwas fortgeschritten war, und die Eigenkontraktionen der Capillaren bei Unterbrechung der Durchströmungen nicht mehr eintraten, zeigte sich noch die Wirkung von Temperaturreizen; auch wenn diese nicht mehr zu erzielen war, äußerte sich noch die kontrahierende Wirkung von unter die Haut eingespritztem Adrenalin.

Durchströmung des überlebenden menschlichen Körpers mit Lösungen von Adrenalin und Pituitrin in annähernd physiologischen Konzentrationen (III. Reihe, hormonale Reize, s. oben).

Wenn wir die wahre Bedeutung kennen lernen wollen, welche bestimmte **Hormone** wie das *Adrenalin* und *Pituitrin* für den Kreislauf haben, so müssen wir diese den Gefäßen auf normalem Wege, d. h. im Durchströmungsversuch zuführen und zwar in Konzentrationen, welche im lebenden Organismus vorkommen (nach *Fränkel* Adrenalin 1 : 400 000; nach *Bröking* und *P. Trendelenburg* ein Teil Adrenalin auf zwei bis zweieinhalb Millionen Teile menschliches Blutserum; das Pituitrin kreist nach *Krogh* im Froschblut normalerweise in Konzentrationen 1 : 100 000 bis 1 : 1 000 000). In welcher Weise solche Hormone unter physiologischen und pathologischen Umständen die Blutverteilung zu lenken vermögen, läßt sich nur bei der *Durchströmung des Gesamtorganismus* mit einiger Sicherheit erschließen. Da das Adrenalin und Pituitrin *unmittelbar auf die Gefäßmuskulatur wirken* (allenfalls durch Erregung der spezifischen sympathischen Nervenendapparate), so müssen wir die grundsätzlichen Erscheinungen auch am überlebenden Organismus beobachten können; die Durchströmung von menschlichen Gliedmaßen und von Leichen Neugeborener mit suprarenin- bzw. pituitrinhaltigen Flüssigkeiten muß also Schlüsse darüber zulassen, welche Bedeutung diese Stoffe im Kreislauf des lebenden Menschen haben. Bei den großen Schwankungen in der Funktion alles Biologischen können nur vergleichende Versuche am selben Individuum einigermaßen sichere Ergebnisse liefern; der Vergleich von Individuum zu Individuum ist nur mit Einschränkungen statthaft. Zumindest belehren uns diese Versuche über das Verhalten der *menschlichen Gefäße* an den verschiedenen Organen, — wir müssen annehmen, daß es von dem der entsprechenden Organe bei Tieren vielfach erheblich abweicht, da auch zwischen den verschiedenen Säugetieren (z. B. Hund und Katze einer-

seits, Kaninchen andererseits) hinsichtlich des Verhaltens ihrer Gefäße Unterschiede bestehen und auch zwischen Affe und Mensch bereits Verschiedenheiten ihrer Reaktion auf Adrenalin nachgewiesen sind (*Auer und Meltzer*¹).

(1). *Durchströmungsversuche mit Verdünnungen von Adrenalin und Pituitrin an einzelnen Körperabschnitten.*

Extremitäten: Läßt man bei einem auf Körpertemperatur erwärmten Neugeborenen (1600 g, 41 cm Körperlänge) unter einem Wasserdruck von 50 cm in die freigelegte linke *Arteria femoralis* 0,75 ccm einer mit *Suprarenin 1:20 000* versetzten Methylenblau-Gummiarabicumlösung einfließen und gleichzeitig in das rechte Bein 1 ccm derselben Lösung ohne *Suprarenin*-zusatz (K 27), so zeigt sich, daß die suprareninhaltige Flüssigkeit in 1½ Minuten einströmt, während die etwas größere Menge der suprareninfreien Lösung in 10 Sekunden eingeflossen ist; auf der ersten Seite färbt sich die Haut der Gesäßgegend bis zum After großfleckig blau; eine kleinfleckige Blaufärbung an Hacken- und Großzehengegend tritt erst im Laufe von zwei Minuten in die Erscheinung; an der suprareninfreien Seite tritt keine Hautfärbung ein. *Querschnitte* an den Beinen zeigen im linken Oberschenkel eine ausgebreittere Injektion der Muskulatur als im rechten und eine Blaufärbung des Epiphysenkerns am unteren Femurende, welche rechts fehlt. Die Muskulatur ist von glasigem Aussehen, die Blaufärbung bildet um die Gefäße herum eine etwas verwaschene Zone, während sie rechts schärfer begrenzt bleibt. Am Unterschenkelquerschnitt ist die Bevorzugung der linken Seite hinsichtlich einer weitergehenden Verteilung der blauen Flüssigkeit ebenfalls deutlich, aber weniger stark ausgesprochen. Am Fuß sind beiderseits die Interkarpalräume ziemlich gleichmäßig gebläut, an der Fußsohle beiderseits nur die großen Gefäße gefüllt.

Wir sehen hier, daß unter *Suprarenineinwirkung* eine etwas geringere Menge von Durchströmungsflüssigkeit doch eine weitgehendere Verteilung in der Muskulatur (vorwiegend der proximalen Abschnitte) und in der Haut (vorwiegend der distalen Abschnitte) erfährt, derart, daß die mit der geringeren Menge gefüllte Extremität auf den ersten Anblick sogar reichlicher gefüllt zu sein scheint. Die größere Arbeit, die Durchströmungsflüssigkeit durch verengte Zufahrstrassen in weiter entfernte und kleinere Gefäße zu treiben, wurde unter demselben Druck, aber in der mehrfachen Zeit geleistet.

Die Verteilung von 1,6 ccm einer methylenblaugefärbten Gummiarabicumlösung mit *Suprarenin 1:10 000* im linken Bein bei 30 Sekunden Einlaufzeit (K 61 b) zeigt die Abb. 16, S. 667. (Rechts wurde die gleiche Menge ungefärbter Lösung ohne Suprarenin in 20 Sekunden injiziert.) — Eine ähnlich reichliche Verteilung in den Hautcapillaren des linken Beines wurde mit 1,25 ccm einer mit *Suprarenin 1:20 000* versetzten blauen Gummiarabicumlösung in einer Minute erzielt (K 62 b; s. Abb. 15 b, S. 666). (Rechts wurden in der gleichen Zeit 2 ccm ungefärbte Lösung ohne Suprarenin eingelassen). Es handelte sich hier um Frühgeborene von 1070 bzw. 1080 g und 37 bzw. 38,5 cm Körperlänge. Die Verteilungsweise innerhalb der verschiedenen Gefäßabschnitte des Beins wurde durch eine von der Bauchaorta in beide Extremitäten gemeinsam nachgeschickte Mennige-Lösung zur Darstellung gebracht (III. Methodik, vgl. S. 532 und 542).

¹ *Auer u. Meltzer: Amer. J. of Physiol.* 47, 286 (1918).

Bei einem Versuch (Neugeborenes von 2550 g und 46 cm Länge, K 29) wurde unter im übrigen gleichen Verhältnissen der Infusion von 5 ccm einer *suprareninhaltigen* (1:20 000) Methylenblau-Gummiarabicumlösung eine solche mit 10 ccm derselben ungefärbten Lösung vorausgeschickt; dieser *Vorlauf* von 10 ccm floß in die linke Arteria iliaca externa in 5 Minuten ein, die folgenden 5 ccm gefärbter Lösung brauchten 1 Minute 20 Sekunden. Die gleichen Mengen *suprareninfrei* Lösung flossen rechts in 2 Minuten 15 Sekunden bzw. 59 Sekunden, zusammen



Abb. 15a. Durchströmung von der *Anonyma* aus mit 3,5 ccm *suprareninhaltiger* Testlösung (1:20 000) und gleichzeitige Durchströmung von der linken Carotis communis und Subclavia aus mit 3,25 ccm ungefärbter *suprareninfrei* Lösung; Durchströmungen nach 2½ Minuten beendet. Oberkörper in Wasserbad von 35,5° (K 62 a) (vgl. Text S. 673 u. 674). — Weitgehendes Hintübertauschen der *suprareninhaltigen* Testlösung nach der *suprareninfrei* durchströmten linken Seite, und zwar besonders an der Haut der linken Gesichtshälfte und des linken Arms, etwas weniger ausgesprochen im linken Hirn und der Muskulatur

des linken Arms, deutlich an der linken Mammaria interna und den Rippenästen.
 Abb. 15b. Durchströmung der linken A. iliaca externa mit 1,25 ccm einer *suprareninhaltigen* Testlösung (1:20 000) ohne Vorlauf; Durchströmung der rechten Iliaca externa mit 2 ccm ungefärbter Testlösung in der gleichen Zeitdauer von 1 Minute; Beine im Wasserbad von 34,7° (K 62 b) (vgl. Text S. 665). — Weitgehende Verteilung der *suprareninhaltigen* Testlösung im linken Bein und zwar einerseits reichliche Verteilung in die Hauptcapillaren — peripher —, andererseits reichlich zum Fuß — distal. Darstellung nach Farbphotographie.

also in etwa der halben Zeit ein. Am rechten Bein beginnt sich die Haut etwa ½ Minute nach dem Durchströmungsanfang blau zu färben; kurze Zeit nach Beendigung der Durchströmung hat die Färbung ihren höchsten Grad erreicht;

sie umfaßt die Innenseite des Oberschenkels, welche fast flächenhaft blau ist und die Knieregion; weiter abwärts finden sich nur vereinzelte Flecke an der Innenseite des Unterschenkels bis zum Hacken; die Wade, die Außenseite des Unterschenkels und der Vorderfuß sind frei. Bauchwärts reicht die Blaufärbung bis in die Gegend der Spina anterior superior und umfaßt die Leistenbeuge und das Labium majus bis zum Clitoris. Am linken Bein findet sich Blaufärbung der Haut nur vom Knie abwärts und erstreckt sich auf den Fuß bis in die Zehen. Auf *Querschnitten* zeigt sich am Oberschenkel, in der Kniegelenksgegend und in der Wadengegend bis in die Nähe des Hackens rechts mehr Blau als links; auf Querschnitten des Fußes dagegen findet sich im Gegensatz zum übrigen Bein links mehr Blau als rechts (vgl. Tafel VIII, Abb. 1a, b, c und d).

Die Verteilung der suprareninhaltigen Portion nach *suprareninhaltigem Verlauf* erfolgt also unter entschiedener *Begünstigung distaler*



Abb. 16. Durchströmung der linken *A. iliaca externa* mit 1,6 ccm einer suprareninhaltigen Testlösung (1:10 000) in 30 Sekunden ohne Vorlauf; Durchströmung der rechten *A. iliaca externa* mit der gleichen Menge suprareninfreier Testlösung in 20 Sekunden; Rektaltemperatur 25,5° (K 61b) (vgl. Text S. 665). — Weitgehende Verteilung der suprareninhaltigen Testlösung im linken Bein und zwar hauptsächlich reichliche Verteilung in die Hauptcapillaren und die feinen Muskelcapillaren — peripher —, andererseits gleichmäßige Ausbreitung der Fleckung bis zum Fuß — distal. Die Hauptgefäße sind dagegen etwas enger als rechts. Darstellung nach Farbphotographie.

Abschnitte. Die Blaufärbung links (Suprareninseite) ist strenger auf bestimmte Gefäßpunkte bzw. -fäden beschränkt und es findet auch einige Zeit nach der Durchtrennung keine weitere Ausbreitung des Farbstoffs an der Schnittfläche statt. *Nur die erste suprareninhaltige Portion erzeugt also eine verwaschene Zone um die Gefäße* (vgl. S. 665, Versuch K 27).

Verwendet man bei Durchströmungen der beschriebenen Art einen größeren farblosen Vorlauf, z. B. von 20 ccm Gummiarabicumlösung (auf einer Seite suprareninfrei, auf der anderen suprareninhaltig), so bleibt das eben beschriebene typische Verteilungsbild im ganzen dasselbe (K 30). Es zeigt sich aber, daß die kleine nachgeschickte Testportion von 3 bzw. 4 ccm nunmehr an beiden Vergleichsgliedmaßen mit der gleichen Geschwindigkeit oder an der Suprareninseite sogar etwas schneller einläuft. Der *Gesamtwiderstand* im Verzweigungsgebiet der Femoralis ist also jetzt *auf der Suprareninseite nicht mehr vergrößert*, eher sogar etwas verkleinert; dies kann nur an Widerstandsabnahme in denjenigen Gebieten liegen, welche von einer der Farblösung reichlich durchströmt wurden, d. h. vor

allem den distalen Gebieten, dann aber auch in sonst träge durchströmten Gegenden; als solche hoben sich besonders die Knochen (Epiphysenkern) hervor. Ein anderes Moment, welches den rascher erfolgenden Eintritt weiterer suprareninhaltiger Portionen erklärt, wird nur bei stärkeren Konzentrationen beobachtet. Es fließt nämlich nach der völligen Durchspülung des Gliedes mit reichlich suprareninhaltiger Gummiarabicumlösung ein erheblicher Teil an den Schnittflächen, welche sich aus der Eröffnung der Bauchwand bzw. durch Freilegung des kleinen Beckens ergeben, ab; unter solchen Umständen kann die nachgeschickte Farblösung infolge der Zusammenziehung der kleinen Gefäße auf der Suprareninseite schon auf kürzeren Bahnen, spätestens vom Gefäßbogen des Fußes aus in die Venen zurückkehren und so zum raschen Rück- bzw. Abfließen gelangen; dann bleibt der Fuß und der größte Teil der Haut undurchströmt und die Durchströmungsflüssigkeit kann rascher einfließen als auf der suprareninfreien Seite, weil sie auch rascher zum Abfluß gelangt; ein solches *Zurückfließen über kurze Bahnen* findet besonders bei höheren Adrenalinkonzentrationen (1 : 10 000, 1 : 7500) statt. — Die *Epiphysen* werden von der gefärbten Lösung erst erreicht, wenn mindestens 4 ccm von ihr eingeflossen sind; am frühesten gefärbt wird die untere Femurepiphysen erst in zweiter Linie die obere Femurepiphysen; die obere Tibiaeepiphysen bleibt länger zurück. Auf der Suprareninseite gelangten reichlichere Teile der gleichen Füllungsmenge zu den Epiphysen. — Die *Ausspülung*, welche sich an der Muskulatur bei größerem farblosem Vorlauf mit *suprareninfreier Lösung* geltend macht, beteiligt niemals die Epiphysen; im Fettgewebe des Fußes dagegen macht sie sich wie in der Muskulatur bemerkbar.

Bei Durchströmung des Beines mit 24 ccm einer Suprareninlösung 1:10000 macht sich die *Wirkung des Adrenals noch nach 24 Stunden* geltend.

Nachdem das Kind am Tage nach der Durchströmung und Abtrennung der Oberschenkel $\frac{1}{2}$ Stunde im Wasserbad von 39° gehalten worden war, zeigte sich nach dem Herausnehmen aus dem Bad eine reichliche Nachblutung an der Schnittfläche des ohne Suprarenin durchströmten Oberschenkels, und zwar auch besonders an der Epiphysenfläche des oberen Femurendes, während die Schnittfläche der mit *Suprareninlösung durchströmten Seite* blaß ist und es hier *nicht nachblutet*. Im Brustkorb wurden zu diesem Zeitpunkt 31° gemessen (K 37).

Es ist noch zu bemerken, daß bei reichlichem Vorlauf die *suprareninfreie Farblösung* sich manchmal ziemlich lange Zeit nach Beendigung des Einströmens (*bis zu 5 Minuten*) noch weitergehend nach den Hautcapillaren *auszubreiten vermag*; in solchen Fällen findet auch das Ablassen entsprechend langsamer, d. h. innerhalb von 5 Minuten, statt; die *suprareninhaltige Farblösung* zeigt *kein so langes Nachfließen*; sie wird, wie das Ablassen der Haut zeigt, schon nach spätestens 2 Minuten wieder aus den Capillaren entfernt, auch blaßt die Haut hierbei vollständiger ab (K 28, 30).

Wurden dieselben Versuche der *vergleichenden Durchströmung* des rechten und linken Beines statt mit Suprarenin mit *Pituitrin* ausgeführt, so ergaben sich *grundsätzlich die gleichen Verhältnisse*: verlängerte Einflußzeit und Verteilung der gleichen Menge auf mehr distalwärts gelegene Extremitätenabschnitte; reichliches Vordringen in die kleinen Muskelgefäße und auch in das Unterhautzellgewebe; Abblässung der Muskulatur, welche auf der Vergleichsseite durch den Gehalt an ungefärbtem Blut in den kleinen Gefäßen rosig erscheint. *Sämtliche Wirkungen sind nur bei den gleichen Konzentrationen weniger ausgesprochen als beim Adrenalin.* — Ändert man den Versuch in der Weise, daß man nicht die gleiche Menge rechts und links hineinschickt, sondern *für einen gleichen Zeitabschnitt* die hormonhaltige bzw. die hormonfreie Gummiarabicumlösung auf jeder Seite einfließen läßt, so ist die Menge, die in der gleichen Zeit einströmt, auf der hormonhaltigen Seite geringer; die Verteilung erfolgt aber auch in diesem Falle in der Weise, daß peripher gelegene und sonst spärlicher versorgte Gebiete eine verhältnismäßige Bevorzugung erfahren.

Bei einem derartigen Versuche wurden unter einem Wasserdruck von 40 cm *eine mit 5,5%* *Pituitrin versetzte Methylenblaugummiarabicumlösung in die linke Iliaca communis, eine ebensolche pituitrinfreie Lösung in die rechte Iliaca* eingelassen und nach 20 Sekunden die Einströmung beiderseits unterbrochen. Auf der pituitrinfreien Seite sind zu diesem Zeitpunkt 1,7 ccm, auf der pituitrinhaltigen nur 1,4 ccm eingeflossen. Nach der halben Einströmungszeit begann sich auf der Pituitrinseite ein Teil des Unterschenkels und Fußes kleinfleckig, zum Teil laubblattartig, zu färben, und zwar zunächst der innere Knöchel, dann die Innenseite des Unterschenkels und des Knies, ferner die Gegend vorn außen am Knie und oberhalb und unterhalb desselben, außerdem entstand ein kleiner Fleck auf dem Fußrücken und ein ebensolcher auf der Rückseite der großen Zehe; an der Plantarseite des Fußes färbte sich der laterale Abschnitt und ein Teil der Fußsohle in einiger Entfernung von der Großzehe, außerdem die Innenseite des Hackens im Anschluß an den inneren Knöchel. Auf der pituitrinfreien Seite wurde erst gegen Schluß der Durchströmungszeit die Volarseite der Großzehe und das benachbarte Gebiet der Fußsohle etwas blau, ferner trat ein unbedeutender blauer Fleck oberhalb des Spannes auf (die Färbung der Fußsohle wurde hier nachträglich im Anschluß an einige Bewegungen, welche an diesem Bein ausgeführt wurden, etwas verstärkt; K 34 b; Abb. 17 b und 18 b, S. 670). Die Durchströmung war beendet worden, als an dem Medianschnitt des Bauches von der linken (Pituitrin-)Seite her ein Abfließen der Farblösung einsetzte, das noch zu einigermaßen reichlichem Nachfließen führte. — Am *Querschnitt* des rechten Oberschenkels sind zunächst nur die großen Gefäße grünblau, ferner einige größere Gefäße der Beugemuskulatur; am zentralen Stumpf füllt sich hauptsächlich die Adductorenmuskulatur nach. Im Gegensatz zu dieser Ansammlung der Farblösung in den großen Gefäßen des rechten Oberschenkels findet sich am Querschnitt des linken, mit Pituitrin durchströmten Oberschenkels eine reichliche Blaufärbung in allen Muskelinterstitien. Die Muskulatur ist rechts rosig durchblutet, links deutlich abgeblaßt. Aus den großen Venen kann man rechts ungefärbtes, links gefärbtes Blut ausstreichen. Der große Unterschied zwischen rechts und links tritt an den Schnittflächen (distal wie proximal) nach etwa 2 Minuten am kräftigsten hervor und ist besonders deutlich, wenn man das aus den Venen dringende Blut abtupft. Das Unterhautzellgewebe des linken Oberschenkels (besonders an der Innenseite) ist blau gefärbt, das des

rechten nicht gefärbt. Am linken Unterschenkel zeigen sich auf dem Querschnitt zahlreiche blaue Gefäße außer am Knochen. Der rechte Unterschenkel lässt am frischen Querschnitt nur wenige blaugrüne Gefäße erkennen. Der linke Fuß zeigt zahlreiche blau gefüllte Gefäße; am rechten findet sich nur schwaches Blaugrün in der Dorsalis pedis und am Ulnarrande der großen Zehe. Die Kniegelenkgegend weist links reichliche Blaufärbung in der Kapsel und dem Popliteafett auf, die

A. Vergleichende Durchströmung von Kopf und Armen mit einer pituitrinhaltigen Testlösung (rechts) und einer pituitrinfreien (links).

Abb. 17a, 18a. Durchströmung von der Anonyma aus mit 6,8 ccm pituitrinhaltiger gefärbter Testlösung (2%) und gleichzeitige Durchströmung von der linken Carotis communis und Subclavia aus mit 19,5 ccm andersgefärbter pituitrinreicher Lösung; beide Durchströmungen innerhalb einer Minute. Gleicher Durchströmungsdruck links wie rechts. Mastdarm-

temperatur 29,6° (K 34a) (vgl. Text S. 674, 675).

— Auf der mit Pituitrinlösung durchströmten rechten Seite dreifach langsameres Einfüßen, weitergehende Ausbreitung auf die kleinen Gefäße, besonders an der Haut des Gesichts, aber auch am Großhirn; geförderte Versorgung distaler Abschnitte des Armes; vermehrtes Hinübertauschen nach der gegenüberliegenden Kopfseite, besonders nach linkem Orbitalinhalt und Kleinhirn sowie Schilddrüse.

Abb. 18 a.

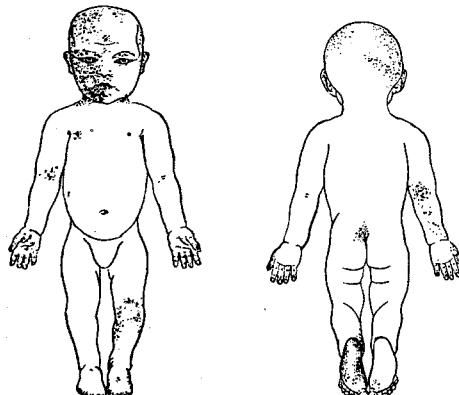


Abb. 17 b.

Abb. 18 b.

B. Vergleichende Durchströmung der Beine mit einer pituitrinhaltigen Testlösung (links) und einer pituitrinfreien (rechts).

Abb. 17b, 18b. Durchströmung der linken Art. iliaca externa mit 1,4 ccm einer pituitrinhaltigen gefärbten Testlösung (5,5%) ohne Vorlauf; vergleichende Durchströmung der rechten A. iliaca externa mit 1,7 ccm gleichgefärbter pituitrinreicher Lösung im gleichen Zeitabschnitt von 20 Sekunden und unter gleichem Druck.

Rectaltemperatur 36,5° (K 34b) (vgl. Text S. 669, 670). — Auf der mit Pituitrinlösung durchströmten linken Seite ein um etwa 20% langsameres Einfüßen; raschere und weitergehende Ausbreitung an der Haut, und zwar besonders an Unterschenkel und Fuß; weitgehende Ausbreitung auf kleine Muskelgefäß und das Unterhautbindegewebe des Oberschenkels, ferner auf Kapsel und Knorpel des Kniegelenks. Im ganzen also periphere Versorgung und distale Versorgung stark begünstigt; Hauptgefäß dagegen verengt. —

Hautschema des Neugeborenen von vorn und hinten.

Farbe dringt auch in den Knorpel ein; am rechten Knie nur wesentlich schwächere Injektion. Die Spongiosa der unteren Femurepiphyse zeigt beiderseits einen blauen Fleck an ihrem Hinterrande. — Das weitere Vordringen der Farblösung einerseits in die kleinen Gefäße, andererseits in die peripheren Abschnitte am linken Bein muß auf das Pituitrin zurückgeführt werden; in der gleichen Zeit, in welcher die Flüssigkeit im rechten Bein nur die Hautarterie und wenige Seitenäste, vorwiegend nur am Oberschenkel gefüllt hatte, war links eine weitgehende Durchströmung der Capillargebiete und besonders auch eine solche der peripheren Abschnitte der Extremität eingetreten; diese „reichlichere Durchströmung“ war aber mit einer geringeren Einflußmenge zustande gekommen, ja sie hatte sogar zu einem Abfließen bauchwärts geführt, während rechts noch nirgends Farblösung in die Venen eingedrungen war.

Der Versuch zeigt deutlich den die *Verteilung fördernden Einfluß des Pituitrins*; es könnte widerspruchsvoll erscheinen, daß die kleinere, auf der Pituitrinseite eingeflossene Menge das ganze linke Bein in der gleichen Zeit versorgt und sogar zum Teil abfließt, in welcher eine um etwa 18% größere Menge, das auf der Vergleichsseite eingeflossen war, nicht einmal die Muskulatur des Oberschenkels reichlich versorgte, obgleich hier nichts durch Abfließen verloren ging. Die paradoxe Erscheinung erklärt sich, wenn wir überlegen, daß *ein Gewebe reichlich durchströmt* aussieht, *wenn seine Capillaren reichlich durchströmt werden*, und daß es spärlich versorgt erscheint, wenn nur die großen Gefäße gefüllt sind. Auf die capillare Füllung und Durchströmung kommt es aber letzten Endes bei der Versorgung der Gewebe an (K 34 b, Abb. 17 b, 18 b).

Kopf und Arme: Kopf und Arme stehen in einer derartig engen Beziehung ihrer Gefäßsysteme, daß sie für den vorliegenden Zweck am besten gemeinsam untersucht werden. Die vergleichenden Durchströmungen finden in diesem Gebiete komplizierende Umstände vor. Einmal ist damit zu rechnen, daß das Hormon *bei gleichzeitiger Durchströmung der einen Kopfhälfte und des Armes* der betreffenden Seite sich an Kopf und Armen in seiner *Wirkung verschieden* verhalten kann, und daß die etwaige verstärkte Durchströmung des einen dieser beiden Gebiete eine verringerte des anderen zur Folge haben könnte; die Deutung des Versuchs wird hierdurch aber nicht erschwert, da die Beobachtung der hormonfrei durchströmten Vergleichsseite den Befund klärt. Weiterhin muß das auch bei völlig *gleichartiger Einströmung* von rechts und links in der Arteria basilaris und dem Circulus Willisii sich entwickelnde Mischgebiet in Betracht gezogen werden; hier ist zu erwarten, daß sich der auf hormonal beeinflußten Gefäßbahnen erfolgende Zustrom von der einen Seite hinsichtlich des „Hinübertauschens“ anders verhält als der auf nicht hormonal beeinflußten Gefäßbahnen erfolgende Zustrom von der anderen Seite. Zunächst sei ein Extremversuch mit *Durchströmung nur von einer Seite*, von der Arteria anonyma aus, besprochen. Bei einer solchen Durchströmung zeigt sich, wie wir im hydrodynamischen Teil (S. 588, 589) gesehen haben, eine reichliche Capillarfüllung an Kopf, Schulter und Oberarm auf der Seite der Einströmung (in diesem Falle der rechten Seite, Arteria anonyma), daneben aber sehr bald ein Übertreten auf die andere Seite, welches bei Fortsetzung der Einspritzung etwas reichlicher wird, aber im ganzen am Kopf wie am Arm doch hinter der Seite, auf welcher das Einfließen erfolgt, zurückbleibt; erst nach sehr reichlicher Durchströmung von rechts her fand sich eine paradoxe Bevorzugung der linken Seite, und zwar im Schädelinnern und in der Muskulatur des linken Armes. — Dieser Versuch wurde *unter Anwendung von suprareninhaltiger Lösung als Durchströmungsmittel* wiederholt, doch wurden

dem farblosen Vorlauf von 20 ccm nur 10 ccm blauer Testlösung nachgeschickt, um das Hinübertauschen ohne störende Überfüllungen beobachten zu können.

In die *Arteria anonyma* werden bei 50 cm Wasserdruck in 1 Minute 27 Sekunden 10 ccm einer Gummilösung mit Suprarenin 1 : 15 000 eingelassen, im unmittelbaren Anschluß daran nochmals dieselbe Menge in 1 Minute 43 Sekunden. Nach kurzer Unterbrechung werden 10 ccm der gleichen aber methylenblaugefärbten Suprarenin-Gummiarabicumlösung in 50 Sekunden eingelassen (K 29). Gleich danach ist die linke Kopfhälfte in ausgedehntem Maße kleinfleckig gefärbt; frei sind nur Bezirke mitten auf der Wange, am Oberlid, in der Ohrmuschel und auf dem Scheitelbein, im Nacken, ferner das Ohrläppchen. Auf der rechten Gesichtsseite findet sich Blau nur an der Nase, dem inneren Augenwinkel, dem Kinn, dem äußeren Augenwinkel bis zur Schläfe, der oberen Ohrhälfte und Teilen der Scheitelbeingegend. Links ist auch die Gegend der Mandibulararterie von einer Flecken-guirlande dargestellt, rechts sind in diesem Bereich nur kleine Fleckchen vorhanden. Umgekehrt sind die Verhältnisse an Hals, Brust und Arm; hier findet sich die Farbinjektion fast ausschließlich auf der rechten Seite, und zwar ist die rechte Nackengegend und Oberschlüsselbeingrube im Zusammenhang flächenhaft gefärbt. Linsen- bis pfenniggroße Fleckchengruppen ziehen sich an Brust und Bauch nach abwärts und erstrecken sich an der Rückseite des Armes bis in die Finger. Am Oberarm bedecken die Fleckchengruppen die Rückseite fast unterbrechungslös bis zum Ellbogen, an der Beugeseite ist aber nur ein pfenniggroßer Bezirk nach vorn von der vorderen Achselfalte gefärbt. Am Unterarm finden sich ein klein-linsengroßer Fleck auf der Beugeseite und drei ähnliche Fleckchen auf der Rückseite. Die Handfläche zeigt eine Anzahl intensiver Flecken, der Handrücken ist frei. An den Fingern ist die Färbung in charakteristischer Weise besonders nach den Zwischenfingerräumen zu vorhanden, dem Verlaufe der Arterien entsprechend. In den gleichen Gebieten der linken Körperhälfte ist keine Blaufärbung der Haut sichtbar, abgesehen von zwei reichlich linsengroßen Fleckchen entsprechend dem oberen Abschnitt des Sternocleido-mastoideus, einem ebensolchen auf dem linken Schlüsselbein und einigen kleinen Stippchen und Strichen nach der vorderen Achselfalte zu. — Die Sektion des Schädels zeigt zunächst die Gegend des linken Stirnbeins blau gefärbt. Bei Eröffnung des Schädeldachs findet sich das Vorderhirn beiderseits ziemlich reichlich blau injiziert, und zwar nur die Arterien der Pia, während die Venen frei sind. Im Scheitellhirn ist die Injektion eine viel geringere; Hinterlappen und im wesentlichen auch die Seitenlappen sind frei. Am verlängerten Mark sind die Gefäße beiderseits gleichstark blau gefärbt. Das Kleinhirn zeigt eine mäßige Injektion, die erst nach dem Herausnehmen deutlicher in die Erscheinung tritt. Die Carotiden sind links in gleichem Maße mit blauer Farblösung gefüllt wie rechts. Die mittlere Schädelgrube zeigt links ausgesprochene Blauinjektion der Gefäße, die rechts in auffälligem Grade fehlt. Die vordere und hintere Schädelgrube ist beiderseits etwas injiziert. Der Augenhöhleninhalt ist links etwas reichlicher versorgt als rechts. Im Munde befindet sich ein kleines blaues Fleckchen am linken Rande des harten Gaumens und ein ebensolches an der Innenseite der Wange. Auf dem Querschnitt zeigt sich am rechten Oberarm reichliche Gefäßinjektion, besonders an der Streckseite; am Unterarm ist die Injektion mehr auf die großen Gefäße beschränkt, ist aber auch in den Muskelgefäßen vorhanden. Die Hohlhand zeigt reichliche, der Handrücken nur geringe Versorgung. Der Oberarmknochen zeigt am Periost etwas Blau. Auf dem Querschnitt des linken Oberarms wird nur etwas Blau von der Subclavia her in die Arteria brachialis nachgezogen; die Gefäße in der Mohrenheimschen Grube sind injiziert. Der ganze linke Arm ist also von der Gegend etwa des Collum chirurgicum an frei. Bemerkenswert ist, daß auch die vordere Herzwand etwas injiziert wurde. Die Innenseite des

Thorax ist auf der rechten Seite bis zur Oberkante der 5. Rippe injiziert und auch links zeigen dieselben Gefäße deutliche Füllung. (Tafel VIII, Abb. 1 a-d).

Der Vergleich dieses Versuches (K 29) mit dem unter entsprechenden Bedingungen, aber ohne Suprarenin ausgeführten (K 30) läßt erkennen, daß *bei nur einseitiger Einströmung die Verteilung im Schädelinnern unter dem Suprarenineinfluß doch eine auf der rechten und der linken Seite ziemlich gleichmäßige wurde, ja, daß in bezug auf Gebiete des knöchernen Schädelns, auf den Orbitalinhalt und besonders auf die Haut ein bevorzugtes Hinübertauschen der Farblösung auf die linke Seite stattfand; an der Haut des Kopfes konnte beobachtet werden, daß die Farblösung von vornherein reichlicher nach links hinübertrat.* Im Gegensatz hierzu blieb im Versuch (K 30) die rechte Kopfseite, besonders in bezug auf die Haut während der ganzen Versuchsdauer stärker versorgt. Im Suprareninversuch verteilte sich die Farblösung auf den Arm der injizierten Körperseite bis in die Finger; *der Verteilung der Farblösung bis in die Fingerspitzen steht im suprareninfreien Vergleichsversuch (K 30) eine Durchströmung nur der proximalen Armabschnitte gegenüber.* Offenbar hat die Kontraktion der von dem farblosen Suprareninvorlauf durchströmten zentralen Gefäßgebiete die Förderung der Durchströmung nach peripheren Gebieten hin hervorgerufen; *peripher liegen für eine Durchströmung von der Arteria anonyma aus die distalen Abschnitte des rechten Armes und die linke Kopfseite;* am Kopfe ist eine solche peripherwärts gerichtete Förderung offensichtlich leichter an der Haut möglich als im Innern der Schädelkapsel. Hinsichtlich der Versorgung des Armes, welche sich in Konkurrenz mit der Versorgung der betreffenden Kopfhälfte vollzieht, hat es den Anschein, als ob eine hormonal bedingte Beschränkung in den Weiten der großen zuführenden Gefäße des Kopfes erforderlich ist, um zu vermeiden, daß durch den zu reichlichen Abfluß nach dem Kopfe hin die Versorgung der peripheren Teile des Armes leidet.

Will man die Suprareninwirkung auf Kopf nebst Arm im unmittelbaren Vergleich untersuchen, so muß *gleichzeitig* die Arteria anonyma und ein entsprechendes Gefäßgebiet der linken Seite unter gleichen Verhältnissen — *auf einer Seite mit, auf der anderen Seite ohne Suprarenin* — durchströmt werden.

Bei einem Neugeborenen (K 62), das auf 37° Rectaltemperatur gebracht ist, wird von einem Schlitz in der Vorderwand der Aorta ascendens aus je ein Ureterenkatheter in die Arteria anonyma bzw. in den Aortenabschnitt, von welchem die linke Carotis communis und Subclavia abzweigt, eingelegt und das Gefäß nach dem aufsteigenden Aortenabschnitt zu an dem Katheter festgebunden; der linksseitige Aortenabschnitt wird durch Unterbindung des Ductus Botalli und der Aorta descendens isoliert. Nunmehr werden *gleichzeitig* durch beide Katheter innerhalb von $2\frac{1}{4}$ Minuten kleine Mengen einer Gummiarabicumlösung eingesetzt, und zwar *rechts* eine blaugefärbte mit *Suprarenin 1 : 20 000*, *links* eine ungefärbte *ohne Suprarenin*. Es fließen rechts 3,5 ccm, links 3,25 ccm ein. $1\frac{1}{2}$ Minuten nach

Beginn der Injektion tritt Blaufärbung an der rechten Ellbeuge und am rechten Auge auf; weiterhin breitet sie sich in gesprengelten scharf begrenzten Flecken über die ganze Vorderseite des rechten Armes aus, läßt aber die Fingerspitzen frei; ferner tritt Blaufleckung an der rechten Brust auf, an der rechten Halsseite, in der Gegend um das Kinn herum, auch an der rechten Lippenhälfte, in Augen- und Stirngegend rechts. An der *linken* Kopfhälfte ist früh die Augengegend beteiligt (wahrscheinlich über den Circulus hinweg und durch Vermittlung der retrograd durchströmten Carotis interna der linken Seite), dann auch die Stirn; auch der linke Arm wird gefärbt, er weist aber eine viel geringere Anzahl von Fleckengruppen auf und zwar von türkisblauer, nicht wie gewöhnlich von ultramarinblauer Farbe. Hand und Finger sind links viel reichlicher injiziert als rechts. (Die linke Hand war von vornherein livide und wie der linke Arm deutlich geschwollen. Abb. 15 a, S. 666.)

In diesem Versuch ist zunächst bemerkenswert, daß in der gleichen Zeit auf der Suprarenalseite ein etwas größeres Flüssigkeitsquantum eingeflossen ist als auf der Vergleichsseite. Der Augenschein lehrte, daß ein *erhebliches Hinübertauschen an der Haut nach der linken Gesichtshälfte und sogar nach dem linken Arm bis in die Hand stattfand*.

Wie die *Sektion* ergab, hatte ein gewisses Hinübertauschen auch im Hirn und in der Muskulatur des linken Armes stattgefunden; schön trat beiderseits die Injektion der Mammaria interna mit ihren Rippenästen in die Erscheinung.

Der Versuch zeigt, daß unter der Einwirkung des Suprarenins ein verstärktes Hinübertauschen nach der gleichzeitig mit suprareninfreier Lösung durchströmten Kopf- (besonders Gesicht-) und Armgegend der gegenüberliegenden Seite stattfindet.

Auch diese Versuchsanordnung der vergleichenden Durchströmung des obersten Körperabschnitts wurde in gleicher Weise mit *Pituitrin* durchgeführt.

Bei einem Wasserdruk von 50 cm wurde innerhalb einer Minute *in die Arteria anonyma* eine Methylenblau-Gummiarabicumlösung mit 2% *Pituitrin* und gleichzeitig *in die vereinigte Carotis communis sinistra und Subclavia* eine Methylgrün-Gummiarabicumlösung ohne *Pituitrin* eingelassen (K 34a). Bald tritt rechts kleinfleckige Bläbung an Hals und Kopf ein, die am Hals und Kinn ziemlich scharf nach der Mittellinie zu begrenzt ist, an Unter- und Oberlippe, Lidern und Schädeldach aber weit nach links hinübergreift; in der Unterkinngegend zeigt sich besonders schönes laubblatt-(Adiantum-)ähnliches Muster. Der rechte Arm zeigt Blau am Ellbogen und in der Ellbeuge, ferner an der Rückseite des Unterarms, am Daumen und an der Handfläche. Auch ein Gefäß in der Brustwarzengegend ist rechterseits blau gefärbt. — Links wird nur am Ohr und an der Halsseite blaugrüne Färbung sichtbar, ferner ganz wenig am Daumen und an der Handfläche. Am Kopf ist die Scheitelgegend und die Hinterhauptgegend ziemlich frei, nur ein vom Ohr nach oben ziehendes streifenförmiges Gebiet ist rechts blau, links blaugrün injiziert, rechts außerdem ein streifenförmiges Gebiet, das vom Ohr zur hinteren Fontanelle zieht. Bei Beendigung des Versuches nach einer Minute waren *rechts* 6,8 ccm, *links* aber fast die dreifache Menge, 19,5 ccm, hindurchgeflossen. Besonders gegen Schluß der Durchströmung hatte ein ziemlich reichliches Abfließen aus den Schnitträndern der Thoraxwunde stattgefunden; Tupfer, die in der rechten Brusthöhle lagen, waren blau gefärbt; die Zwerchfellkuppel war hier frei. In der linken Brusthöhle waren die Tupfer blaugrün gefärbt und die Thoraxinnenseite und Zwerchfellkuppel blaugrün angefärbt — es hatte ein erheblich reichlicheres Abfließen auf der linken Seite stattgefunden. — Bei der *Sektion* zeigt sich die Kopfschwarze an

der Innenseite reichlich injiziert, in der Schläfengegend mehr rechts als links. Am Großhirn ist hauptsächlich der rechte Schläfenlappen und die Gegend nach der Falx zu versorgt und zwar rechts etwas reichlicher als links. An der Schädelbasis ist die Dura allenthalben reichlich injiziert. Starkes Hinübertauschen der blauen Farbe nach links findet sich besonders am Kleinhirn und am Orbitalinhalt (wahrscheinlich über den Circulus, wie im vorigen Versuch). Die Rippengefäße sind nur rechts, und zwar bis zur 5. Rippe herab mit Farbstoff gefüllt, links ist dies nur an der Mammaria interna der Fall. Auf dem Querschnitt des rechten Armes zeigen sich, außer den Hauptgefäßen nur einige große Muskelgefäße gefärbt, ferner die Oberarmkopfepiphysse. Am linken Oberarm findet sich längs dem Knochen und in den größeren Muskelgefäßen Injektion. Am rechten Unterarm wird die Dorsalmuskulatur einige Zeit nach Anlegung der Querschnitte blau gefärbt, entsprechend der dortigen Hautfärbung. Die Muskulatur erscheint im ganzen blaß mit braunen Rändern, am linken Unterarm, dagegen rosig in ziemlich gleichmäßiger Färbung. Die Blaufärbung am Querschnitt des Unterarms ist am rechten schließlich deutlich stärker als am linken. Der Halsquerschnitt zeigt vorwiegend blaugrüne Färbung im Rückenmarkskanal, vorwiegend blaue an der Schilddrüse; auch weiter abwärts zeigt sich blaugrüne Färbung am Rückenmark, die aber erst nach Durchtrennung der Rückenmarkshäute gut sichtbar wird (Abb. 17a, 18a, S. 670).

Das langsamere Einfließen auf der rechten Seite weist auf die durch das Pituitrin bewirkte Zusammenziehung der großen Gefäße hin. Auch hier finden wir unter dem Einfluß des Hormons eine *weitergehende Ausbreitung auf die kleinen Gefäße*, und zwar nicht nur an der Haut des Gesichts, sondern auch nach ausgedehnten Abschnitten des Großhirns. Wir finden weiterhin auf der Pituitrinseite die *Bevorzugung distal liegender Gefäßgebiete* wie die von Unterarm und Hand, ferner das *vermehrte Hinübertauschen* nach der anderen Kopfseite, hier neben Gesicht und Kopfschwarte besonders den Orbitalinhalt und das Kleinhirn betreffend, auch Hinübertauschen zur anderen Schilddrüsenhälfte. Eine bevorzugte Versorgung von der linken Seite her hat nur das Rückenmark erfahren, man könnte annehmen durch das Abdrängen des Nebenstromes der Arteria spinalis posterior von seiten des Hauptstromes. Das reichlichere Abströmen der methylgrünen, pituitrinfreien Lösung nach der Brustwunde zu erfolgte offenbar über kurze Bahnen hinweg; *trotz der nach Einfluß- und Abflußmenge als reichlich anzusehenden Durchströmung erwies sich autoptisch doch nur ein beschränktes Gefäßgebiet der linken Kopfhälfte und des linken Armes als tatsächlich versorgt* (K 34a; Abb. 17a, 18a, S. 670).

(2). Allgemeine Verteilung suprarenin- bzw. pituitinhaltiger Durchströmungsflüssigkeit.

Das Gefäßsystem des überlebenden Organismus ist auf den Bahnen, welche nicht durch stagnierendes Blut toxisch beeinflußt sind, unter gewöhnlichen Umständen im Zustande einer gewissen Erschlaffung und bei stärkerer Abkühlung außerdem starr und unelastisch. Die Erwärmung auf annähernd Körpertemperatur ist erforderlich, um die Elastizität und vielleicht auch einen gewissen aktiven Tonus zurückzukehren zu lassen. Da das Gefäßsystem beim Lebenden ständig unter

Einwirkung des Sympathicus und des ihm in der Wirkung sehr ähnlichen Adrenalins steht, müssen wir voraussetzen, daß auch das Fehlen dieser Reize beim Überlebenden eine Erschlaffung des Gefäßsystems zur Folge haben muß. Den in Rede stehenden hormonalen Reiz können wir auch im Versuch am Überlebenden bei Gesamtdurchströmungen zur Einwirkung kommen lassen, es würde sich nur um die Konzentration handeln, welche wir für die *Aufrechterhaltung des allgemeinen Tonus* annehmen müssen. Wir wollen also bei solchen Versuchen mit dem Zusatze einer kleinen Adrenalinmenge zur gesamten Durchströmungsflüssigkeit keine stärkeren lokalisierten Reizwirkungen ausüben, vielmehr einen Zustand des Allgemeintonus herstellen, welcher dem beim Lebenden vorhandenen möglichst angenähert ist. Ähnlich wie vorher bei der Wärme müssen wir also hier beim Adrenalin die Einwirkung, welche wir einerseits unter dem Gesichtswinkel von Reiz und Reaktion betrachten, andererseits auch unter dem von Bedingung und Zustand ins Auge fassen. Beim Lebenden ist die Konzentration des Adrenalins im Blute auf etwa 1 : 2 000 000 geschätzt worden; am Überlebenden schien eine Konzentration von etwa 1 : 300 000 bis 1 : 100 000 Suprarenin in der Durchströmungsflüssigkeit geeignet, den Zustand des Gefäßsystems dem im Leben vorhandenen anzunähern.

Fassen wir das Ergebnis einer Reihe von Allgemeindurchströmungen mit suprareninhaltiger Flüssigkeit in den angegebenen Konzentrationen zusammen, indem wir es mit dem Durchströmungsergebnis bei adrenalfreier Lösung vergleichen, so zeigt sich, daß *kleinere Durchströmungsmengen mit Suprarenin (30 ccm) weitere Verbreitung im Capillargebiet finden als größere Mengen suprareninfreier Gummiarabicumlösung (50—100 ccm)*. (Versuche K 21, 31, 32, 33; Gegenbeispiel K 38.)

(a) *Die allgemeine Verteilung, besonders im Hinblick auf Rumpf und Kopf.*

Die Verteilungsquote, welche jedem Organ im Durchschnitt zukommt, ist hinsichtlich des gegenseitigen Verhältnisses der Organe der Bauchhöhle nicht wesentlich gegenüber der im hydrodynamischen Teil gegebenen Einzelschilderung der Organversorgungen geändert. Betrachten wir aber das Verhalten der Baucheingeweide (insbesondere Magen, Darm, Leber) in ihrer Gesamtheit im Verhältnis zum übrigen Körper, so ist eine auffällig geringe Füllung der ersten bei der Suprarenindurchströmung unverkennbar; eine solche scheint sich besonders bei einer Durchströmung mit einer mittelgroßen Menge (etwa 100 ccm) einzustellen; sie wird auch bei so geringen Konzentrationen wie 1 : 385 000 beobachtet; noch vor Eröffnung der Bauchhöhle ist sie durch die verlängerte Einflußzeit zu erkennen. Ein mittelgroßes Testquantum mit gleich großem, gleichartigem Vorlauf, welche an den Gliedmaßen nicht über die großen Gefäße hinausgelangte, am Rücken oben in der Muskulatur und nach der Haut hin sich auszubreiten

anfang, verteilt sich bei Suprarenin gehalt in der Weise, daß eine geringere Versorgung der Bauchorgane zugunsten des Gehirns stattfand. Das Gesicht nimmt an dieser bevorzugten Versorgung in gewissem Grade teil¹. (Vgl. die folgende Gegenüberstellung des Versuches K 20 und K 19.)

Vergleichende Durchströmung zweier Neugeborener im Wasserbad von 36,3° C bei 80 ccm Wasserdruck.

Versuch K 20:
Gewicht 3140 g, Länge 51 cm.

Versuch K 19:
Gewicht 2900 g, Länge 47 cm.

Es fließen ein:

55 ccm Gummiarabicumlösung mit Suprarenin 1 : 385 000 in 2 Minuten.

55 ccm derselben blaugefärbten Lösung in 1½ Minuten.

Gesicht: Schläfengegend, Augenlider, Unterkinngegend blaugefleckt; ein ausgedehnter Bereich am Hinterkopf netzartig blau gefärbt.

Gehirn: Blaufärbung an Stirn-, Scheitel-, Schläfen- und Hinterlappen, am reichlichsten nach der Falx zu, aber auch an Konvexität und Basis; etwas weniger reichlich das Kleinhirn. *Rückenmark* frei.

Magen-Darm: Auffällig wenig gefüllt, am ehesten noch das links oben liegende Paket des Jejunum.

Milz: In unregelmäßigen Flecken injiziert.

Leber: In unregelmäßigen Flecken gefüllt, am wenigsten die Grenzzone zwischen linken zum rechten Lappen.

Nieren: Blaufärbung, die die Papillen frei lässt.

Nebennieren: Im inneren Hohlraum etwas Blaufärbung.

Hoden: Beiderseits frei.

Rücken: Eine Anzahl blauer Gefäßchen in den langen Rückenmuskeln, einige daselbst auch in der Haut.

Extremitäten: Nur in den großen Gefäßen blau.

55 ccm Gummiarabicumlösung ohne Suprarenin in 3 Minuten.

55 ccm derselben blaugefärbten Lösung in 2 Minuten.

Gesicht: Nur in der Stirn klein-fleckige Blaufärbung, die sich etwas auf Lider und Nase und auch Schläfengegend erstreckt.

Gehirn: Nur die der Hirnsichel zugewandten Flächen des Großhirns (oberhalb des Balkens) zeigen etwas Blaufärbung, ferner die Hinterlappen und das Kleinhirn ein wenig an ihrer Konvexität. *Rückenmark* frei.

Magen-Darm: Weitgehend blau gefärbt, etwas weniger der Dickdarm.

Milz: An der Oberfläche reichlich blau gefärbt, auf dem Schnitt durch und durch tiefblau.

Leber: Oberfläche gleichmäßig mit blauen Stippchen bedeckt; innen rechter Lappen reichlicher gefüllt als linker; Grenzzone zum rechten Lappen gänzlich frei.

Nieren: Reichlich mit nichtgefärberter Flüssigkeit durchtränkt, außerdem blau injiziert.

Nebennieren: Hohlraum mit blauen Gerinnseln gefüllt.

Hoden: Beiderseits frei.

Rücken: Lange Rückenmuskeln in einzelnen Gefäßen etwas blau.

Extremitäten: Nur an den größeren Gefäßen blau.

¹ Auf der Kontraktion im Splanchnicusgebiet beruht der Erfolg der intravenösen Infusion einer adrenalinhaltigen Kochsalzlösung bei dem auf Kreislaufschwäche beruhenden Kollaps. — Rosenow, G.: Dtsch. Arch. klin. Med. 127, 136 (1918).

Will man sich darüber Rechenschaft geben, welche Organe unter dem Einfluß von Adrenalin eine reichlichere Versorgung haben, und welche Organe zu einer reichlichen Durchströmung des Adrenalin-einflusses nicht bedürfen, so kann man auch in der Weise vorgehen, daß man mit zwei verschieden gefärbten Gummiarabicumlösungen hintereinander durchströmt, von denen die zweite einen Zusatz von Suprarenin erfährt (die umgekehrte Anordnung ist nicht verwendbar, da die von vornherein hineingeschickte Suprareninlösung Gefäßgebiete, welche sich bei hormonfreier Durchströmung gut füllen würden, durch Verengerung für die hormonfreie Lösung weniger zugänglich machen würde). Derartige Versuche, bei denen eine mit Tusche gefärbte Gummiarabicumlösung voraufging, eine mit Methylenblau gefärbte folgte (oder umgekehrt), ließen erkennen, daß die adrenalinhaltige 2. Portion stets die Kranzgefäß und Lungen sowie die Schilddrüse reichlich durchströmte, während sich die Bauchorgane als vorwiegend von der ersten adrenalinfreien Portion gefüllt erwiesen; erfolgt die Durchströmung vom Aortenanfang aus, so könnte dieser Befund einfach durch die Tatsache erklärt werden, daß jedesmal die letzte Portion sich vorwiegend auf den kurzen Kreislaufbahnen befinden müßte; die Verteilung war aber auch keine andere, wenn die Durchströmung von der Nabelvene aus erfolgte (K 39), wobei sonst keine bevorzugte Versorgung der genannten Brust- und Halsorgane stattzufinden pflegt, vielmehr erhebliche Teile jeder neuen Portion retrograd nach dem Capillargebiet des Darms abzuströmen pflegen; bei dieser Füllung der Capillaren der verschiedenen Organe durch Einströmen von der Nabelvene aus werden Organe mit erweiterten Capillaren leicht gefüllt, solche mit engen Capillaren nur mäßig oder gar nicht gefüllt.

Daß sich die Capillaren des Herzens und der Lungen nicht unter der Adrenalinwirkung zusammenziehen, erstere sogar erweitern, ist aus Tierversuchen bekannt¹; wir müssen aus unseren Beobachtungen schließen, daß dies auch für den Menschen zutrifft. — Wir sehen ferner, daß sich auch die Schilddrüse des Menschen in gleichem Sinne verhält; bei Tieren hat Gunning² eine Veränderung der Schilddrüsengefäß bei Adrenalingaben von 1:100 000 beobachtet. Daß die Hormone

¹ Erweiterung der Kranzarterien an Gefäßstücken, isolierten Herzen, am Herz-Lungenpräparat und intakten Kreislauf ist beim Tier von zahlreichen Forschern nachgewiesen; beim Menschen wurde von Barbour Verengerung beobachtet, von Krawkow (1921) und von Cruickshank und Subba Rau (1926) aber Erweiterung. Die Lungengefäße stehen beim Tier ebenso wie Placentar- und Kiemengefäße nicht unter dem Einfluß des Sympathicus; Adrenalin ist auf sie nach der Mehrzahl der Untersucher ohne Einfluß oder führt sogar zu Erweiterung; andere Untersucher sahen aber eine Verengerung, beim Frosch wurde auf kleine Dosen Erweiterung, auf größere Verengerung beobachtet (Rothlin: Biochem. Z. 111, 257 [1920]).

² Gunning: Amer. J. of Physiol. 44, 215 (1917).

der Schilddrüse die Wirkung des Adrenalin auf Herz und Gefäße begünstigen, ist im Tierversuch sowohl durch unmittelbare Zuführung von Schilddrüsenpräparaten, als auch durch Reizung der Schilddrüse auf dem Nervenwege festgestellt; dies geschieht nicht durch Einwirkung der Schilddrüsensubstanz auf die Nebennieren, da es auch nach Entfernung der Nebennieren zur Steigerung der Wirkung von eingebrachtem Adrenalin kommt. Es wäre hiernach verständlich, wenn das Adrenalin dadurch, daß es zu einer besseren Durchblutung der Schilddrüse führt, eine Steigerung der hormonalen Absonderung dieses Organs erzeugt, wodurch es seine eigene Wirkung verstärkt; die umgekehrte Annahme, daß etwa das Adrenalin die Durchblutung der Schilddrüse beeinträchtigte und so inhibitorisch auf die Bildung des Schilddrüsenhormons einwirkte, welches seinerseits doch Eigenschaften enthält, die der eigenen Wirkung des Adrenalin zu Hilfe kommen, wäre weniger verständlich.

Die Nieren zeigten bei den Allgemeindurchströmungen mit schwachen Suprareninlösungen Kontraktion der Gefäße in ähnlicher Weise wie der Darm. Die Nebennieren wiesen den Farbstoff im Innern des Organs auf, keinesfalls war eine besonders reichliche Capillarfüllung vorhanden. Die Milz erwies sich der suprareninhaltigen Durchströmungsflüssigkeit gegenüber etwa in gleichem Maße zugänglich wie Nieren und Darm; stets ist aber auffällig, wie lange die Milz die einmal in sie eingedrungene Flüssigkeit festhält. Wird an den Gefäßen von Magen, Darm und Leber die beschriebene ausgedehnte Gefäßverengung und demgemäß schwache Füllung beobachtet, so nehmen Nieren und Milz nicht in gleichem Maße an der Gefäßkontraktion teil.

Vom Gehirn ist es bekannt, daß seine Gefäße im Tierversuch keine Verengerung durch Adrenalin erkennen lassen; es wird vielmehr regelmäßig eine Erweiterung beobachtet, welche man auf die Erhöhung des allgemeinen Blutdrucks zurückführt. Auch bei den Durchströmungsversuchen am überlebenden Neugeborenen war eine vermehrte Versorgung des Gehirns (und verminderte der Bauchorgane) im Verhältnis zu den Gesamtdurchströmungen mit suprareninfreier Lösung festzustellen; das Rückenmark schien jedoch an dieser bevorzugten Versorgung nicht teilzunehmen.

Über die verschiedene Verteilung suprareninhaltiger und suprareninfreier Flüssigkeitsmengen innerhalb der verschiedenen Abschnitte des Kopfes (Gehirn, Gesicht) geben folgende Versuche Auskunft.

In einem Versuch (K 41) wurde durch Abschnürung der linken Halsseite (Nadel durch Kehlkopf und Wirbelkanal, um die beiden Enden ein Gummischlauch geschnürt) bei Allgemeindurchströmung ein Zufluß zum Kopf ausschließlich von der Anonyma und der Vertebralis aus gewährleistet; es wurde zunächst nach 50 ccm farblosem Vorlauf eine *tuschegefärbte suprareninfreie Gummiarabicumlösung* (40 ccm), dann nach 50 ccm suprareninhaltigem Vorlauf eine *methyleneblau gefärbte Gummiarabicumlösung mit Suprarenin 1 : 100 000 (40 ccm)* eingelassen.

Hierbei zeigte sich während des ersten Einlaufs eine Schwarzfleckung zunächst der rechten Wange (nach 15 Sekunden), bald darauf des ganzen Gesichts, und zwar rechts mehr als links. An der linken Seite bleibt nur das Ohr (außer dem Ohrmuschelinnern) und die Gegend unterhalb des Ohres frei. An Stirn und Mund zieht sich die Färbung in den nächsten 5 Minuten mehr auf deutliche Einzelfleckung zurück. Während der folgenden Durchströmung mit suprareninhaltiger Blaulösung wird die Färbung im Gesicht mehr schieferig und tritt in Gestalt feinstter Strichelzeichnung auf, die das Blau deutlich hindurchschimmern lässt. Bei der *Sektion* zeigt die Kopfschwarze rechts an den großen Gefäßßen Blau, links keine Füllung. Das Blut in den Großhirngefäßen ist beiderseits schieferig gefärbt; eine weitgehende Injektion zeigt sich nur am rechten Schläfenhirn, und zwar mit deutlichem Blau an den Konvexität. Blau ist der Bereich des Circulus Willisii rechts und links, das Blau greift auf die Gegend des großen Keilbeinflügels nach links hinüber; die rechte mittlere Schläfengrube ist blauschwarz verfärbt. Im Kleinhirn schieferig verfärbtes Blau wie im Großhirn. Auffällig ist, daß der Orbitalinhalt rechts graublau, links klarblau injiziert ist. Die Wangenmuskulatur ist rechts schiefergrau gefärbt. Die Mundschleimhaut zeigt beiderseits Blau mit Grau. Die Zunge zeigt auf Querschnitten feine Grauinjektion in Längsstreifchen. Am Halsquerschnitt ist rechts reichlich Blau mit wenig Grau, links keine Färbung vorhanden.

In diesem Versuch hat die suprareninhaltige Flüssigkeit zunächst nur das durch den suprareninfreien Vorlauf erweiterte Gebiet noch stärker gefüllt. Sie hat sich im ganzen *mehr dem Gehirn*, weniger dem Gesicht zugewandt; auf der linken Seite ist sie *über das von dem Vorlauf bereits besetzte Gebiet hinaus in ausgesprochenem Maße dem Orbitalinhalt zugeflossen*. Es handelte sich um eine Gesamtdurchströmung des Körpers, bei der ein großer Teil dieser zweiten Portion nach anderen Organen, besonders auch nach den Gliedmaßen zum Abstrom gelangte; die Menge der dem Kopfe zuströmenden suprareninhaltigen Blaulösung war jedenfalls nicht groß.

In einem weiteren Versuch (K 40) wurde bei einer Gesamtdurchströmung während der *Einlaufsdauer* der ersten (blauen) *suprareninfreien Portion* (50 ccm farbloser Vorlauf, 30 ccm blauer Testeinlauf, 50 ccm farbloser Nachlauf) die *rechte Kopfhälfte abgeschnürt*, während der *Dauer der zweiten (schwarzen) suprareninhaltigen Portion* (50 ccm farbloser Vorlauf, 30 ccm schwarzer Testeinlauf, 30 ccm farbloser Nachlauf) die *linke Kopfhälfte* bei gleichgroßen Portionen strömten letztere mit fast doppelter Einlaufszeit ein. Die blaue Lösung erschien so langsam in der linken Gesichtshälfte, daß sie von der schwarzen in die rechte Gesichtshälfte gelangenden Lösung eingeholt und in der Intensität der Ausbreitung überholt wurde; in dem zwischen rechtem Auge und Ohr liegenden Gesichtsabschnitt wurde die Färbung fast homogen tief schwarz; an den anderen Teilen der rechten Kopfseite bildete sie mehr vereinzelte, scharf begrenzte Flecken. — Bei der *Autopsie* zeigte sich nun ein ausgesprochener Gegensatz zwischen dem Gehirn (besonders seinen mittleren Abschnitten), dem verlängerten Mark und dem Rückenmark einerseits, und den Organen des Gesichtsschädelns andererseits; im *Gehirn und Rückenmark* hatte die *blaue — suprareninfreie — Farbe* ein entschiedenes Übergesicht (verlängertes Mark — tiefblau; Ventrikel blau; rechter Schläfenlappen schön blau „hinaufgetauscht“; linker Schläfenlappen blau mit etwas Grau; linkes Vorderhorn blau; linkes Stirnhirn blau, das etwas nach rechts hinüberreicht; Kleinhirn färbt stark blau nach; mittlere Schädelgruben beiderseits blau; Rückenmarksgefäß deutlich blau). In den verschiedenen Teilen und Organen des *Gesichtsschädelns* war die *graue — suprarenin-*

haltige — Farbe ausschlaggebend, welcher auf der linken Seite etwas Blau zugemischt war, die aber auch auf der rechten Seite durch etwas Blaumischung schieferfarben erschien. Der Augenhöhleninhalt zeigte beiderseits schiefergraue Farbe, die Oberlippe beiderseits reines Grau; nur in der Gegend der linken Tonsille war klare Blaufärbung vorhanden. Im Schädelinnern zeigte sich Grau nur nach den Hinterlappen des Gehirns zu, ferner in Beimischung am Kleinhirn (meisenblaue Farbe).

In dem vorliegenden Versuch trat also die zuerst eingeführte *suprareninfreie Lösung reichlicher in das Schädelinnere* ein als die zuletzt eingeführte *suprareninhaltige*, welche großenteils *nach dem Gesicht* und wie bei dem Versuch K 41 (S. 679) nach den Extremitäten zum Abfluß gelangte. Der geringe Anteil der suprareninhaltigen Portion, welcher in das Schädelinnere eintrat, ist offenbar im wesentlichen auf dem Wege über die Vertebralis dahin gelangt. — Daß bei Konkurrenz von hormonhaltiger mit hormonfreier Flüssigkeit letztere mehr zum Rückenmark gelangt, ergibt sich auch aus den Beobachtungen K 34 a (S. 675 oben). Die suprareninhaltige Flüssigkeit gewinnt, von einer Carotis externa her eindringend, im Gesichtsteil des Kopfes das Übergewicht über die suprareninfreie, von der anderen Seite herkommende Lösung (vgl. Versuch K 62, S. 673 u. Abb. 15a, S. 666). Dies ist besonders an der Oberlippe charakteristisch. Bevorzugtes Hinübertauschen der hormonhaltigen Lösung wurde auch beim Pituitrinversuch K 34 a (S. 674 u. Abb. 17a, 18a S. 670) beobachtet. Bemerkenswert ist die *beiderseits gleiche*, aus der Mischung der suprareninhaltigen und der suprareninfreien Lösung zu erklärende *Färbung des Orbitalinhals*, welche bei der einseitigen Blaufärbung des Hirns von der Carotis interna aus nur durch Zustrom gemischter Portionen von der Vertebralis her (über den Circulus Willisii) oder gemischten Zustrom von der Arteria infraorbitalis (aus der Maxillaris interna) erklärt werden kann, da eine unmittelbare Gefäßverbindung zwischen rechter und linker Orbitalhöhle nicht vorhanden ist.

Strömt die *suprareninhaltige Lösung auf derselben Seite zum Kopfe*, auf welcher der suprareninfreie Vorlauf vorangegangen ist (Versuch K 41, S. 679), so treibt diese zweite Portion die erste vor sich her und fördert sie um so mehr, als sie selbst eine Zusammenziehung der großen Gefäße bewirkt; ihren Abfluß finden beide Portionen unter den Versuchsbedingungen halbseitigen Einströmens leichter im arteriellen Abschnitt der anderen Hirnhälfte als in den Capillaren und venenwärts. Da nun die Zusammenziehung der größeren Gefäße im Gebiet der Carotis externa ausgesprochener ist, als im Gebiet der Carotis interna, so vermag die *suprareninhaltige Lösung in erhöhtem Maße ins Gehirn* vorzudringen. — Wird dagegen die *suprareninhaltige Lösung* als zweite Portion *der gegenüberliegenden Kopfhälften zugeführt*, so findet sie zwar ein leeres Arteriengebiet im Bereich der Carotis externa dieser Seite vor (Versuch K 40, S. 680), das Gebiet der Carotis interna ist aber von der anderen Seite her über den Circulus Willisii erheblich gefüllt. Die zweite Portion fließt

somit in erhöhtem Maße dem Gebiet der Carotis externa zu und findet, einmal *in die kleinen Gefäße der betreffenden Gesichtshälfte* gelangt, in diesen keinen besonders erheblichen Widerstand, ja sie verdrängt die suprareninfreie Gefäßfüllung aus der anderen Gesichtshälfte, wie die reichliche Füllung der Haut- und Muskelcapillaren beider Seiten mit suprareninhaltiger Lösung dartut (vgl. hierzu das analoge Verhalten der Capillaren in Haut und Muskulatur der Extremitäten).

Findet eine Durchströmung mit suprareninhaltiger Flüssigkeit in der Weise statt, daß eine Anzahl, z. B. *vier hintereinander eingelassene gleichgroße Portionen* durch vier verschiedene Farben gekennzeichnet sind, so läßt sich ein Bild von dem Verbleib dieser hintereinander eingelassenen Portionen und damit von der Durchströmungsgröße der einzelnen Organe unter dem Einfluß des Hormons gewinnen.

Bei einem derartigen Versuch (*K 36*), einer *Durchströmung mit viermal 15 ccm verschiedenen gefärbter Gummiarabicumlösungen mit Suprarenin 1:100 000*, fand das Einfließen in der üblichen Weise unter abnehmender Geschwindigkeit statt; während des Eintretens der vierten Portion erfolgte ziemlich rasch blaugrüne Fleckung (durch die vierte Portion) an Kopf, Rumpf und Extremitäten unter Freilassen von Bauch und Gesäßgegend. — Die *Sektion* ließ erkennen, daß sich die *erste Portion* in der Milz fast rein vorfand und in die serösen Höhlen des Schädels, des Brustraums und der Bauchhöhle übergetreten war. Die Leber war in den Capillaren größtenteils von der ersten Portion gefüllt, zeigte aber in den großen Gefäßen schon die zweite. Die *zweite Portion* fand sich mit Resten der ersten in ausgedehnter Weise in Haut und Muskulatur, ferner im Darm; rein war sie in venösen Gefäßen der Falx und der Lamina cribrosa, sowie in der Muskulatur der oberen Rückenabschnitte vorhanden. Die *dritte Portion* wurde an der Vorderseite des Halses, ferner in den Schädelgruben, besonders an der Dura der großen Keilbeinflügel angetroffen, in der Cauda equina, in der Orbitalhöhle, in der Parotis und im Sternum. Die zuletzt eingelassene *vierte Portion* fand sich in zahlreichen Hirngefäßen und im Wirbelkanal sowie in der Schilddrüse. Ebenso zeigten die Coronargefäße die grüne Färbung dieser Portion. — Die Extremitäten wiesen in den Venen die ersten Portionen, in Arterien und Capillaren die letzte Portion auf. In den Nieren zeigten sich die ersten Portionen in der Rinde, die letzten in den zuführenden Gefäßen des Parenchyms.

In einem solchen Versuch tritt mangels eines tonisierenden suprareninhaltigen Vorlaufs die schwächere Versorgung des Darms weniger in die Erscheinung, die *bevorzugte Stellung des Zentralnervensystems und der Schilddrüse* und die *Begünstigung der Extremitäten* einerseits, die reichliche Füllung aber und lange *Sperrung der Milz* andererseits ist jedoch unverkennbar.

b) Die allgemeine Verteilung, besonders hinsichtlich der Extremitäten.

Die vergleichenden Versuche über die Wirkungsweise von die Gefäße durchströmenden Adrenalinverdünnungen bei unmittelbarer Durchströmung menschlicher Gliedmaßen haben, wie oben ausgeführt (S. 665 ff.), gezeigt, daß im allgemeinen *im proximalen Abschnitt* der Extremität eine Kontraktion der kleinen Gefäße bei reichlicher Füllung der *Hauptgefäße* zu beobachten ist, während *am distalen Abschnitt*

besonders die *kleinen Gefäße reichlich gefüllt* bzw. durchströmt werden; analog verhalten sich die Extremitätengefäße bei Durchströmung mit Pituitrinverdünnungen. *Im natürlichen Kreislauf* wird das Hormon über die Venenbahn und den Lungenkreislauf zunächst zur Aorta und von hier aus allen Organen und Gliedmaßen annähernd gleichzeitig in dem Maße zugeführt, in welchem diese einer Durchströmung zugänglich sind. Es wurde schon erwähnt, daß mit einer raschen *Aufzehrung des Hormons* in der Kreislaufbahn zu rechnen ist, es ist also eine ständige Abnahme des Hormongehalts vielleicht schon in den Venen, insbesondere aber vom linken Herzen bis zu den Capillaren hin, anzunehmen. — Für das Verständnis der Adrenalinwirkung auf den Gesamtkreislauf ist es von grundsätzlicher Bedeutung, ob eine kontrahierende Wirkung in der Aorta und vor allem in den Arterien der Bauchorgane, welche ja aus Tierversuchen genügend bekannt ist, durch Drucksteigerung in diesen Gefäßgebieten eine passive Erweiterung der Extremitätengefäße nach sich zu ziehen vermöchte; auf Grund der Tierversuche wird eine solche passive Erweiterung für die Hirngefäße, nicht aber für die Extremitäten angenommen. Hinsichtlich der Hirngefäße ist bereits oben bei Besprechung der Korrelationen zwischen Rumpf und Kopf darauf hingewiesen worden, daß diese Wirkung bei den kurzzeitigen Durchströmungen überlebender Neugeborener nicht wesentlich in die Erscheinung treten kann, da die hierbei einmal in die Gefäße der Bauchorgane gelangte Flüssigkeit nicht mehr in erheblichem Maße zu einem wiederholten Kreislauf verwendet wird. Anders ist es mit den Gliedmaßen, wenigstens wenn wir die unteren Extremitäten betrachten; *werden die Gefäße der Bauchorgane in erheblichen Ausbreitungsbezirken kontrahiert, so gelangen in der Zeiteinheit größere Mengen zu den vom Ende der Aorta abzweigenden Gefäßgebieten, besonders also auch den unteren Extremitäten.* Einerseits durch diesen, infolge der Zusammenziehungen in mehr zentral gelegenen Gebieten begünstigten Zustrom, andererseits durch das Verhalten der Gefäße in der Extremität selbst (welches, wie wir sehen werden, kein passives ist wie bei den Hirngefäßen), wird nun die Versorgungsgröße des Gliedes bestimmt.

Um den Sachverhalt beim überlebenden Neugeborenen festzustellen, wurden *Gesamtdurchströmungen* vorgenommen, bei denen, wie in bereits oben geschilderten Versuchen, *auf eine suprareninfreie Portion eine suprareninhaltige folgte*; durch abwechselndes Abschütteln bzw. Freigeben von Extremitäten wurde die suprareninfreie und die suprareninhaltige Lösung verschiedenen Gliedmaßen zugeführt, wobei *in der Regel ein Arm und das Bein der gegenüberliegenden Seite in gleichem Sinne behandelt* wurden, um die durch eventuelle postmortale Blutsenkung hervorgerufenen Veränderungen an den Gefäßen nicht zu Fehlerquellen bei der Deutung der Versuche werden zu lassen (vgl. Methodik). Die Kreislaufbahn umfaßt bei dieser Versuchsanordnung für die erste wie

für die zweite Portion ein gleichgroßes Gesamtgebiet, da jedesmal eine obere und eine untere Extremität aus dem Kreislauf ausgeschaltet werden. Die zweite Portion findet aber notwendigerweise eine in gewissem Grade gefüllte Gefäßbahn und damit einen gewissen Druck im Gefäßsystem bereits vor.

Bei reichlicher Durchströmung kann diese Füllung und dieser erhöhte Druck selbst dahin wirken, daß die Freigabe einer bis dahin abgeschnürt gewesenen Extremität nach Beendigung der Allgemeindurchströmung zu einer *nachträglichen Füllung* dieser Extremität von der Aorta her führt, wie dies im hydrodynamischen Teil beschrieben ist (K 45). Diese nachträgliche Füllung von dem zur Ruhe gekommenen Inhalt der Zentralgefäß aus ist von der im hydrodynamischen Teil S. 583 beschriebenen Durchströmung des freigegebenen Gliedes vom strömenden Inhalt der Zentralgefäß her zu unterscheiden. Dort wurden bei genügendem zentralem Druck der strömenden Flüssigkeit sogar reichlichere Durchströmungen an der freigegebenen Extremität beobachtet; im vorliegenden Falle findet aber von dem ruhenden Inhalt der Hauptgefäß her, wenn überhaupt, so *nur eine mäßige Füllung* der Gefäß der losgeschnürten Glieder statt, welche sich in der Regel auf die Hauptgefäß beschränkt und nicht bis in die Capillaren vorrückt (K 44, 45, 47). Dies geschieht schon deshalb, weil nach jeder Unterbrechung einer Einströmung der zentrale Druck stets um einen erheblichen Betrag absinkt (größeres Einströmungsvolumen in der Zeiteinheit bei Wiederaufnahme der Durchströmung; geringes Zurückfließen aus der Hauptkanüle, wenn die Durchströmung längere Zeit unterbrochen war).

Wollen wir für unseren Versuchszweck bei der zweiten Portion nach Möglichkeit die gleichen Durchströmungsbedingungen herstellen wie bei der ersten, so müssen folgende Bedingungen erfüllt sein: 1. *Nach Einfüßen der ersten Portion* muß man *längere Zeit* (etwa $\frac{1}{4}$ Stunde) *warten*, damit die eingeströmte Flüssigkeit durch das geschilderte Nachfließen sich nach den Capillaren hin verteilt hat und der Druck in der Aorta wieder gesunken ist, ehe die zweite Portion einströmt; 2. die erste wie die zweite Portion darf *nicht zu groß* genommen werden, um eine zentrale Füllung und Drucksteigerung durch die erste Portion möglichst klein zu halten; 3. die *Testproben* müssen untereinander *gleichgroß* sein, um so den Vergleich zu ermöglichen; 4. die *Vorläufe* müssen so groß genommen werden, daß die Testprobe jedesmal schon eine reichlich gefüllte Extremität vorfindet; auch die Vorläufe wurden in der Regel *gleichgroß* gehalten, um so jede der Vergleichsextremitäten vor der Durchströmung mit der Testprobe einer Durchströmung mit suprareninfreier bzw. suprareninhaltiger (farbfreier) Lösung in gleichem Maße auszusetzen. — Eine *andere Versuchsanordnung* besteht darin, daß man den Gesamt-

körper zunächst ohne Abschnürung von Gliedmaßen mit einer suprareninfreien Flüssigkeit durchströmt und nunmehr unter wechselweiser Abschnürung zunächst eine kleine suprareninfreie Testprobe, dann eine gleichgroße suprareninhaltige mit der Gegenfarbe hineinschickt; es findet also hierbei nur ein *Vorlauf für alle vier Gliedmaßen* statt. In diesem Falle ist der Druck in der Aorta als Folge des eingeströmten Quantum für die erste wie die zweite Testportion annähernd der gleiche und eine Änderung in diesem Druck im wesentlichen auf die Adrenalinwirkung der zweiten Testportion zu beziehen. Bei der ersten Methodik wird die durch den Adrenalinvorlauf hervorgerufene Zustandsänderung durch die sich an ihn anschließende gefärbte Testprobe nachgewiesen; bei der letzteren wird die *Zustandsänderung* beobachtet, welche *durch die adrenalinhaltige Testprobe selbst hervorgerufen ist*. — Eine *dritte Versuchsanordnung* vollzog sich in der Weise, daß jedesmal eine mäßig große gefärbte Testprobe, etwa 20 ccm, durch einen *Nachlauf* — die zwei- bis dreifache Menge ungefärbter Flüssigkeit — in die jedesmal freigegebenen Extremitäten vorwärtsgeschoben wurde; Testprobe und Nachlauf hatten den gleichen Adrenalingehalt bzw. waren gleichermaßen adrenalinfrei; bei dieser Anordnung wird der Füllungszustand bzw. die Durchströmung nicht so sehr durch das Verhalten der Gefäße in der Extremität als vielmehr durch das Verhalten der Aorta und der Bauchgefäß bestimmt, da die weitere Verteilung des in die Extremität gelangten Anteils der Testprobe, der hier eben erst auf die Gefäße zu wirken beginnt, durch die nachströmende Flüssigkeit geschieht, deren Verhalten durch den Zustand der Gefäße in der Bauchhöhle bedingt ist. — Schließlich wurde auch eine *Versuchsanordnung mit farblosem Vorlauf und Nachlauf* zur suprareninfreien und suprareninhaltigen Testprobe zur Ausführung gebracht.

Es wurden hiernach folgende Versuchsanordnungen bei Durchströmung des gesamten Körpers mit einer suprareninfreien und hierauf mit einer suprareninhaltigen Lösung unter wechselweiser Bindung von linkem Arm und rechtem Bein bzw. rechtem Arm und linkem Bein durchgeführt:

1. *Durchströmung ohne Vor- und Nachlauf* (K 26). Das Ergebnis dieses Versuches war, daß die mit der suprareninfreien Lösung durchströmten Gliedmaßen die Färbung im wesentlichen nur in den Hauptgefäßen aufwiesen, während die mit suprareninhaltiger Lösung durchströmten Gliedmaßen in erheblicherem Maße, bis in die Capillaren, durchströmt waren.

2. *Durchströmung nach Vorläufen* (K 41). Ergebnis: Weitreichende, aber nicht besonders kräftige Färbung der ohne Suprarenin durchströmten, kräftige Färbung der mit Suprarenin durchströmten Extremitäten.

Die suprareninhaltige zweite Portion kann Reste der ersten Testprobe, welche noch in der Aorta zurückgeblieben waren, vor sich her treiben, so daß an den für die zweite Portion freigegebenen Gliedmaßen zunächst diese erste Testfarbe an der Haut in die Erscheinung tritt; es ist bemerkenswert, daß in solchen Fällen die suprareninhaltige zweite Portion zunächst an der Haut des Unterschenkels, also distal die erste Portion verdrängt, während zum gleichen Zeitpunkt die Haut des Oberschenkels allenthalben noch die erste Portion aufweist. — Wurde ein *von der ersten Portion durchströmtes Glied bei der zweiten Durchströmung nicht abgebunden*, so erhielt es von dieser zweiten suprareninhaltigen Portion annähernd einen gleichgroßen Anteil wie das jetzt erst freigegebene Vergleichsglied; die Durchströmungsgröße hing also nicht so sehr davon ab, ob die Gefäße gefüllt oder leer waren, sondern von dem Hormongehalt der zweiten Portion und dem dadurch bedingten Verhalten der Gefäße. Bei der *Sektion* wird in solchen Fällen die zweite Portion im Oberschenkel vorwiegend in den großen Gefäßen in der Tiefe angetroffen, während die Muskulatur, besonders der Adductorengegend, von der ersten Portion gefärbt ist; die Muskulatur des Unterschenkels weist dagegen bereits eine Durchströmung mit der zweiten Portion auf.

In den Fällen, bei denen die Durchströmung mit einem Vorlauf zu jeder Testprobe stattgefunden hatte, zeigt sich am *Arm* die bevorzugte Durchströmung mit suprareninhaltiger Flüssigkeit besonders in der Muskulatur an der Volarseite von Hand und Unterarm, während sich die Gefäßfüllung am Oberarm eher etwas auf die großen Gefäße beschränkt. Am hormonfrei durchströmten Vergleichsarm ist die Testprobe jedoch im Oberarm ziemlich verbreitet, während sie im Unterarm mehr in den großen Gefäßen verblieben ist; das gegensätzliche Verhältnis zwischen proximalem und distalem Abschnitt, welches bei der unmittelbaren Durchströmung von Gliedmaßen mit suprareninhaltiger bzw. suprareninfreier Flüssigkeit gefunden wurde, kommt also auch bei der Gesamtdurchströmung mit Vorlauf noch zum Ausdruck. Die Knochen blieben bei den Durchströmungen mit farblosem Vorlauf frei von Farbinjektion.

3. *Durchströmung mit Nachläufen* (K 24, 39). Ergebnis: Klassische, kräftige und die Capillaren in allen Teilen weitgehend einbeziehende Durchströmung der Extremitäten beim Suprareninversuch, dagegen geringfügige und selbst in den Hauptgefäßen der Extremitäten nicht besonders reichliche Durchströmung mit der ersten, suprareninfreien Testprobe.

Bei den Durchströmungen mit Nachläufen setzt die Färbung der *Haut* sofort nach Beginn des Einströmens der suprareninhaltigen Portion ein und verbreitet sich in rascher Folge in der Haut der betreffenden Gliedmaßen, und zwar nicht nur jenseits des Schnürringes,

sondern auch proximal davon in dem nicht abgeschnürt gewesenen Gebiet, an der unteren Extremität die Unterbauch- und Gesäßgegend der betreffenden Seite und das große Labium einbegreifend. Sehr rasch sind diese Gebiete mit kleinen Farbflecken wie übersät. Auf Querschnitten zeigt sich die *Muskulatur* weitgehend injiziert, und zwar besonders auf der Beugeseite im distalen wie im proximalen Gliedabschnitt. Fuß und Hand sind reichlich und in feiner Verteilung durchströmt, der *Knorpel* nimmt die Färbung des als Testmittel benutzten Methylenblaus an; die *Knochen* können aber auch unter diesen Umständen frei von Farbstoff bleiben. — Ist das *Gefäßsystem* des Neugeborenen bei dem Versuch von vornherein hochgradig erschlafft, so kann die suprareninfreie Testprobe nebst dem suprareninfreien Nachlauf in einem solchen Maße in der Aorta liegen bleiben, daß bei Einströmen der zweiten, suprareninhaltigen Portion ein *Rest der ersten Testprobe unter der Suprareninwirkung* in die freigegebenen Gliedmaßen vorgeschieben wird, der sich größer erweist, als der in die Vergleichsextremitäten gelangte.

4. *Durchströmung mit Vor- und Nachläufen* (K 40). Ergebnis: Wie zu 3.

Auch bei der Durchströmung mit Vor- und Nachlauf verbreitet sich die suprareninhaltige Testportion rasch über die Haut der für sie freigegebenen Gliedmaßen (und die freigegebene Gesichtshälfte), und zwar setzte die *Hautfärbung* wie bei den Versuchen mit ausschließlichem Nachlauf bereits ein, als die zweite Hälfte der 30 ccm (in anderen Fällen 20 ccm) ausmachenden Testportion an der Kanüle einzutreten begann. Die Füllung der großen Gefäße erweist sich auf Querschnitten als reichlich; die Durchströmung der *Muskulatur* ist eine so ausgiebige und so fein verteilte wie unter keiner anderen Versuchsbedingung, und zwar an der Beuge- wie an der Streckseite; nur die Fußsohle und der Handrücken zeigen eine nicht ganz so ausgiebige Gefäßinjektion. Ist im Versuch Tusche als Testfarbe verwendet, so findet keine Gewebsimbibition statt; die Querschnitte der Muskulatur zeigen dann eine außerordentlich reichliche feine und feinste Pünktelung, einem Sternhimmel ähnlich, zwischen der sich bei Lupenvergrößerung noch weiter feinste Pünktchen erkennen ließen. Das Bild entsprach vollkommen der Darstellung, welche *Krogh*¹ vom vital mit Tusche injizierten arbeitenden Muskel des Meerschweinchens gibt in Gegenüberstellung zu dem nur sehr gering injizierten ruhenden Muskel. Die *Knochenquerschnitte* wurden auch unter diesen Umständen frei von Farblösung gefunden, sie waren also trotz der weitgehenden sonstigen Versorgung des Gliedes nicht von der Testprobe erreicht.

Die Methode einer hormonfreien und hierauf einer hormonhaltigen Gesamtdurchströmung bei wechselweiser Bindung von je zwei Glied-

¹ *Krogh*: Anatomie und Physiologie der Capillaren, S. 33. Berlin 1924.

maßen wurde in gleicher Weise auch mit *Pituitrin* durchgeführt. In einem solchen Falle (K 37) zeigte der linke, mit pituitrinhaltiger Flüssigkeit durchströmte Arm reichliche Blaufüllung in den größeren Gefäßen des Ober- und Unterarms; die Hohlhand zeigte zierliche Injektion aller Gefäße. Der rechte, mit pituitrinfreier Lösung durchströmte Arm wies nur etwas Blau in den Hauptgefäßen auf. An den Beinen war das Verhältnis entsprechend der umgekehrten Bindung das entgegengesetzte; im Vergleich mit den Armen war in diesem Falle die Durchströmung der Beine überhaupt eine geringere. — Wird der gleiche *Versuch ohne Zusatz eines Hormons* ausgeführt (K 38), so zeigt sich, daß die Einlaufszeit der zweiten Portion entsprechend der durch die erste Portion bewirkten Füllung des Arteriensystems etwas verlängert ist. Eine vermehrte Durchströmung der für die zweite Portion freigegebenen Extremitäten wird aber nicht beobachtet; selbst unter den für das reichliche Auftreten der Testprobe in der Extremität günstigsten Verhältnissen, nämlich beim Vorwärtsschieben dieser Testprobe mit einem großen Nachlauf, wird die Durchströmung dieser zuletzt freigegebenen Gliedmaßen keine ausgedehntere. Ebenso wie in den oben beschriebenen Fällen die erste, hormonfreie Vergleichsportion in der Regel die Extremitäten nur spärlich durchströmte, ist dies bei diesen hormonfreien Kontrollversuchen unter im übrigen gleichen Durchströmungsbedingungen bei der ersten, aber auch bei der zweiten Portion der Fall.

Zusammenfassung.

41. Das *Gefäßsystem des überlebenden Organismus* ist wie für thermische, so auch für die chemischen Gefäßreize in hohem Maße empfindlich; es ist aber notwendig, daß diese Stoffe unmittelbar an die Gefäßwand gelangen. Derartige Reaktionen wurden an ausgebluteten, bis zur Untersuchung kühl gehaltenen Extremitäten und Neugeborenen bis zu drei Wochen beobachtet.

42. Durch *Druck blutarm gewordene Capillargebiete* erfahren eine bevorzugte Durchströmung, durch *Eigenzusammenziehung blutarm gewordene Gebiete* bedürfen aber eines besonderen Gefäßreizes und werden dann reichlich durchströmt. Nur die *Lunge* füllt sich gerade am ausgebluteten Individuum ohne besonderen Gefäßreiz sofort reichlich mit der Durchströmungsflüssigkeit. — Die zusammengefallene Lunge zeigt verminderte Durchströmung; hinsichtlich der noch nicht entfalteten und der entfalteten Lunge des Neugeborenen ist ein Unterschied im Durchströmungsversuch nicht festzustellen.

43. In mit *hypostatischem* Blut gefüllte Gefäßgebiete dringt die Durchströmungsflüssigkeit in bevorzugtem Maße hinein; diese Gefäße sind gedeckt und mehr oder minder gelähmt. Dies gilt auch besonders für die Lunge. — Bei *plethorischen* Neugeborenen dringt die Durchströmungsflüssigkeit besonders in blutreiche parenchymatöse Organe

der Bauchhöhle (Milz und Nieren); die plethorische Lunge wird dagegen nur, wenn ein besonderer Reiz (Wärme) einwirkt, einigermaßen reichlich durchströmt. — *Septisches Blut* verursacht die stärkste Gefäßlähmung, es verhindert die agonale Kontraktion der Capillaren und lässt frühzeitig Blutfarbstoff in die Gefäßwände übertreten. — Unter der Einwirkung von in die Gefäßbahn gelangtem *frischem Tierblut* wurden nur beim Lebenden sofortige und erhebliche Gefäßreaktionen beobachtet.

44. Während ein *nutritiver Reiz* (Milch, Pepton) beim Tierversuch in der Agone deutlich eine Gefäßerweiterung in dem betreffenden Gebiet auslöst, bleibt diese Wirkung beim überlebenden Neugeborenen aus, offenbar mangels der vermittelnden Tätigkeit der Darmschleimhaut. Es wird nur eine primäre Capillarkontraktion mit Verschiebung des Blutes in die kleinen Venen beobachtet.

45. Die *Abbauprodukte* des normalen Stoffwechsels erzeugen beim lebenden Tier in der Leber eine Verengerung der abführenden Gefäße, wodurch der Filtrationsdruck erhöht wird; in gleicher Weise führt an den Nieren die Kontraktion der Vasa efferentia an den Glomeruli einen erhöhten Filtrationsdruck herbei. Die Nieren des überlebenden Neugeborenen zeigen bei erheblichem Harnstoffgehalt der Durchströmungsflüssigkeit vermehrte Gefäßfüllung und verlangsamte Durchströmung.

46. Eine gleichmäßige Wirkung auf die gesamte Gefäßmuskulatur beim Lebenden wird nur durch gewisse *körperfremde Stoffe* hervorgerufen; eine allgemeine Erweiterung erzeugt das Amylnitrit (und ähnlich von den Alkaloiden das Papaverin), eine allgemeine arterielle Verengerung das Bariumchlorid (und von den Alkaloiden ähnlich das Nicotin). — Die dem Organismus adäquaten, bei der Assimilation und Dissimilation vorkommenden Stoffe und ebenso die aus dem Körper stammenden Hormone wirken erweiternd und verengend je nach Organgebiet und Gefäßabschnitt und erzeugen so eine der wechselnden Organfunktion entsprechende Regulation. Die *assimilatorischen Reize* rufen vermehrte Durchströmung an den Aufnahmeorganen (Magen, Darm; Lungen ?) hervor, die *dissimilatorischen* nur an den Ausscheidungsorganen mit einfacher Diffusion (Lungen); an den Organen mit sekretorischer Funktion bewirken sie vermehrte Blutfüllung und verstärkten Filtrationsdruck (Leber, Nieren). — Abbauprodukte, die sich in der portalen Blutbahn befinden, werden in der Norm durch die Leber zerstört; andernfalls rufen sie im großen Kreislauf Arterienkrampf und Capillarlähmung (Shock) hervor (vgl. die Zustände bei paroxysmaler Tachykardie und bei mangelhafter Zufuhr von Sauerstoff zur Lunge). — Für die Kreislaufregulation, welche die Funktionen des animalischen Systems (Gehirn und Bewegungsorgane) betreffen, kommen als wirksame Faktoren außer dem Nervensystem besonders die *Hormone* Adrenalin und Pituitrin in Betracht.

47. Eine Einspritzung von konzentriertem *Adrenalin ins Gewebe* bringt die Capillaren, selbst wenn sie gedehnt, erschlafft und für sonstige Reize unempfänglich sein mögen, zur kräftigen und nachhaltigen Zusammenziehung; diese Kontraktion kann allein durch starke Kälteeinwirkung (Auflegen von Eisstückchen), und zwar auch nur vorübergehend aufgehoben werden (Kältelähmung der myoneuralen Zwischenschicht). — Eine *Novocain-* oder *Cocaineinspritzung* erzeugt eine vorübergehende Capillarkontraktion, dann Capillarlähmung; *Histamin* ruft ebenfalls Capillarlähmung hervor, zugleich aber Verengerung der Arteriolen. — Längere Zeit nach dem Tode, und zumal nach wiederholter Einwirkung von Reizen auf die Capillaren, nimmt deren Reaktionsfähigkeit ab; zuerst erlischt die spontane Kontraktionsfähigkeit der Capillaren im Anschluß an eine Füllung, erheblich länger sprechen die Capillaren auf Temperaturreize an, erst bei stark fortgeschrittener Zersetzung der Gewebe schwindet die Ansprechbarkeit der Capillaren auf Adrenalin.

48. Bei *direkter Durchströmung des überlebenden Neugeborenen mit Adrenalinlösungen 1:10 000 bis 20 000* findet an den unteren Extremitäten eine vermehrte Füllung und beschleunigte Durchströmung in den *kleinen* Muskelgefäß und Hautgefäß statt und generell eine bevorzugte Durchströmung *distaler* Gliedabschnitte. Die größeren zentralen Gefäße werden im Gegensatz hierzu verengt; diese verengende Wirkung auf die Gefäßmuskulatur ist noch nach 24 Stunden deutlich nachweisbar. *Pituitrin* wirkt in gleichem Sinne, aber nur bei höheren Konzentrationen und auch dann langsamer und weniger ausgesprochen. — Bei gleichzeitigem Einfüßen von suprareninhaltiger und suprareninfreier Lösung unter gleichem Druck in die *Anonyma* bzw. linke *Carotis communis* und *Subclava* dringt suprareninhaltige Lösung in stärkerem Grade in die gegenüberliegende, von suprareninfreier Lösung gefüllte Kopfhälfte bzw. Extremität. Auch hier bewirkt *Pituitrin* in gleicher Weise *verstärktes Hinübertauschen* und weitgehende Ausbreitung auf die kleinen Gefäße am Kopf, sowie Bevorzugung der distalen Abschnitte an der Extremität.

49. Bei der *Allgemeindurchströmung mit schwachen Suprareninlösungen* (1 : 100 000 bis 1 : 300 000) findet eine bevorzugte Verteilung nach dem *Gehirn* zu statt; das Gesicht nimmt an dieser bevorzugten Versorgung in gewissem Gradeteil; ferner sind die *Extremitäten* begünstigt; die Bauchorgane (Magen, Darm und Leber) zeigen im Gegensatz dazu eine verhältnismäßig spärliche Versorgung. Die *Milz* zeigt sich rasch und reichlich gefüllt, dann aber gegen weitere Durchströmung zunächst gesperrt. — Am Kopf treibt eine suprareninhaltige Lösung einen suprareninfreien Vorlauf vorwiegend zum Gehirn.

50. Werden bei einer Allgemeindurchströmung mit einer hormonfreien und hierauf mit einer hormonhaltigen Suprarenin- bzw. *Pituitrinlösung* je zwei Gliedmaßen wechselweise gebunden, so daß die hormonhaltige

Lösung nur in die während der zweiten Durchströmung freigegebenen Glieder gelangen kann, so werden regelmäßig die mit *hormonhaltiger Lösung* durchströmten Extremitäten stärker versorgt, und zwar besonders reichlich in den peripheren und distalen Abschnitten; die Hautfärbung setzt an ihnen rascher ein als bei den mit suprareninfreier Lösung durchströmten Vergleichsgliedern; der Knochen zeigt im Gegensatz zu der hormonalen Förderung im übrigen Bein keine erhebliche Färbung.

Schlußsätze.

Die durchschnittliche *Versorgungsgröße* der einzelnen Organe kann am lebenden Tier durch die Kontrolle des Vergleichs kleiner, in das Herz eingeführter Farbstoffmengen schätzungsweise bestimmt werden; hiernach stehen in der Versorgung an der Spitze die Hypophyse, die Schilddrüse und die Nebennieren und in zweiter Linie Gehirn und Rückenmark, während die Geschlechtsdrüsen und die Extremitätenknochen sowie das Fettgewebe (Wangenfett) die unterste Versorgungsstufe bilden. Die Versorgungsgröße der Organgebiete läßt sich nicht aus dem mittleren Durchmesser der Aortenäste unmittelbar berechnen, sondern nur aus der vergleichenden Beobachtung der Organe empirisch bestimmen, da die peripheren Widerstände der maßgebende Faktor sind. — Unter bestimmten Versuchsbedingungen ergeben sich regelmäßige Versorgungsunterschiede zwischen symmetrisch gelegenen Organen oder benachbarten Organabschnitten und regelmäßige Abweichungen hinsichtlich der allgemeinen Verteilung. Eine abgeschrägte Extremität wird nach der Wiederfreigabe rascher und reichlicher durchströmt; Erwärmung von außen oder Zusatz von Suprarenin zur Testprobe wirken in gleichem Sinne. Eine mit Suprareninzusatz versehene, am Herzen eingeführte Testprobe gelangt in stärkerem Maße zum Zentralnervensystem und zu den Extremitäten. Eine mit Milch gefüllte Dünndarmschlinge wird von der Testfarbe rascher erreicht und reichlicher durchströmt als benachbarte Schlingen. Die atmende Lunge bzw. die kräftiger atmende Thoraxhälfte wird reichlicher durchströmt; in gleichem Sinne wirkt Erwärmung einer Thoraxhälfte.

Am überlebenden Neugeborenen und an abgesetzten Gliedmaßen Erwachsener läßt sich vermittels kurzzeitiger Durchströmung mit gefärbten kolloidalen Lösungen ein Bild der relativen Durchströmungsgröße der einzelnen Organe und Organabschnitte gewinnen, welches in den Hauptzügen mit den am lebenden Tier ermittelten Verhältnissen übereinstimmt. Die Durchströmungsgröße hängt außer von dem Bau der Strombahn im wesentlichen von den örtlichen Widerständen ab, die durch den Gefäßtonus bedingt sind. Ein gewisser Gefäßtonus ist auch beim überlebenden Organismus vorhanden. Durch in den Gefäßen stagnierendes Blut wird dieser Tonus zum

Schwinden gebracht, durch verschiedene Reizeinwirkungen (Wärme, Suprarenin, andere chemische Reizmittel) kann der Tonus angeregt und im Sinne der Zusammenziehung oder Erweiterung beeinflußt werden; diese Einflüsse müssen durch unmittelbare Einwirkung auf die überlebende Gefäßwand zustande kommen. *Funktionelle Verhältnisse, die sich nicht am Überlebenden vorfinden oder experimentell erzeugen lassen (hohe Durchströmungsgröße der Nebennieren; die wichtigsten Erscheinungen bei der reaktiven Hyperämie; die Hyperämie auf Ernährungsreize) müssen auf ein Zusammenspiel von Faktoren, die sich nur beim lebendigen Organismus vorfinden, bezogen werden* (Eigenschaften des lebenden Blutes, Stoffumsatz der lebenden Zelle, Wirkungen des Zentralnervensystems).

Bei Kopfstellung findet in nach unten liegenden Gefäßgebieten außer einer Inhaltszunahme an Venen und Capillaren eine mäßige Herabsetzung der Durchströmungsgröße statt. Bei starker Zentrifugalwirkung auf die Arme werden die Klappen undicht, so daß eine retrograde Venenfüllung erfolgen kann. Bei Seitenhang des Körpers findet sich einerseits an untenliegenden Organen (untenliegende Thymushälfte, herabhängender Arm, untenelegener Dünndarmabschnitt) vermehrte Blutfülle, andererseits wird an Organen der obenliegenden Körperhälften (Kleinhirn, Zwerchfell, Niere) erhöhte Durchströmungsgeschwindigkeit beobachtet. — Ein hydrostatischer Außendruck, der sich in physiologischen Grenzen hält, kann nur auf elastisch gedehnte Gefäße (die Capillaren) eine geringe verengende Wirkung ausüben. Bei Kopfstellung läßt ein solcher hydrostatischer Außendruck keine vermehrte Blutfülle in den tiefliegenden Körperabschnitten, wie sie sonst durch inneren hydrostatischen Druck zustande kommen würde, eintreten.

Der Temperaturzustand des Organismus (Bluttemperatur, Zimmer-temperatur) stellt die Bedingung für eine bestimmte Art der Inhaltsverteilung dar; die Veränderung des Temperaturzustandes wirkt als Reiz und verändert den Gefäßtonus und die Inhaltsverteilung. — Wärmeeinwirkung von außen innerhalb physiologisch ertragbarer Grenzen erweitert die kleinen Gefäße durchströmter Organe, Wärme-einwirkung mit Verbrühungscharakter bewirkt außerdem rasche, reichliche Imbibition des Gewebes; bei ruhendem Gefäßinhalt und bei leeren Capillaren finden sich Abweichungen im Verhalten der Gefäße. Kälteeinwirkung innerhalb physiologisch ertragbarer Grenzen ruft Verengung der kleinsten Gefäße und an der Haut Hervortreten des subpapillären Plexus hervor. — Bei Durchströmung von Gliedmaßen mit warmer (45°) bzw. kalter ($11,5^{\circ}$) Flüssigkeit wird die Erweiterung bzw. Verengung nur an den peripheren Gefäßen beobachtet, während die größeren zentralen Gefäße zunächst das entgegengesetzte Verhalten aufweisen, so daß die hydrodynamische Wirkung der peripheren Erweiterung bzw. Verengung auf den Gesamtkreislauf abgeschwächt wird. Wirkt

der Temperaturreiz von außen auf die Extremität, so ist dieser Gegen-
satz ebenfalls vorhanden, aber weniger stark ausgesprochen. — Bevorzugte
Durchströmung bei Erwärmung des Körpers von außen lässt sich *auch an inneren Organen* (Gehirn; Lungen; Leber, Nieren, Dünndarm) fest-
stellen. — Der ausschlaggebende Faktor für die vermehrte Durch-
strömung bei Erwärmung liegt nicht in der Abnahme der Viscosität
der Durchströmungsflüssigkeit, sondern in der Änderung der Gefäß-
weiten.

Durch Eigenkontraktion anämisch gewordene Gefäßgebiete am Überlebenden bedürfen eines besonderen Gefäßreizes, um durchströmt zu werden; nur die Lunge wird gerade am ausgebluteten Individuum ohne einen besonderen Gefäßreiz sofort reichlich durchströmt. Die kollabierte Lunge zeigt verminderte Durchströmung gegenüber der nicht kollabierten; hinsichtlich der noch nicht entfalteten und der durch Atmung entfalteten Lunge des Neugeborenen ist ein Unterschied im Durchströmungsversuch nicht festzustellen. Die Lunge des plethorischen Neugeborenen wird nur, wenn ein besonderer Gefäßreiz (Wärme) einwirkt, einigermaßen reichlich durchströmt. — Von chemischen Reizmitteln, welche von der Gefäßbahn aus wirken, sind am überlebenden Organismus vor allem durch Suprarenin und Pituitrin entschiedene Einwirkungen zu erzielen. Bei Durchströmung von Extremitäten mit suprareninhaltiger Flüssigkeit wird eine vermehrte Füllung und beschleunigte Durchströmung in den kleinen Muskel- und Hautgefäßen und generell eine bevorzugte Durchströmung distaler Gliedabschnitte beobachtet; die größeren zentralen Gefäße werden im Gegensatze hierzu verengt. Pituitrin wirkt im gleichen Sinne, aber schwächer. Bei Gesamtdurchströmung des Organismus mit suprarenin- bzw. pituitrinhaltiger Flüssigkeit wird eine bevorzugte Versorgung des Kopfes und in zweiter Linie der Extremitäten, eine geringere der Bauchorgane, beobachtet. — Die Reaktionen an den überlebenden Gefäßen wurden am kühle gehaltenen Organismus und bei nicht durch stagnierendes Blut hervorgerufener Gefäßlähmung noch drei Wochen nach dem Tode erzielt; nach wiederholter Einwirkung von Reizen auf die Gefäße nimmt deren Reaktionsfähigkeit ab. Am ehesten erlischt die Kontraktionsfähigkeit der Gefäße durch mechanischen Reiz (Spontankontraktion der Capillaren im Anschluß an eine Gefäßfüllung), erheblich länger und wiederholt sprechen die überlebenden Gefäße auf Temperaturreize an, erst bei stark fortgeschrittener Zersetzung der Gewebe schwindet die Reaktionsfähigkeit der kleinen Gefäße auf Suprarenin.

Tafelerklärungen.

Tafel I.

Schematische Darstellung der Gefäßvolumina und der Wegstrecken im menschlichen Kreislauf.

(Vgl. Haupttext S. 544.)

Der Gefäßinhalt im menschlichen Blutkreislauf wird in der Weise dargestellt, daß *je 1 ccm Blut graphisch als ein* durch einen bestimmten Farbton bezeichnetes *Feld von 1 qmm Größe eingetragen* wird. (Die Tafel ist auf $\frac{9}{10}$ der Originalgröße verkleinert.) Zur Darstellung des arteriellen Blutes werden rote Felder, zur Darstellung des venösen blaue Felder und zur Darstellung des Portalblutes grüne Felder verwendet; für bestimmte Venengebiete wird der Gehalt an endokrinen Stoffen, die das in ihnen enthaltene Blut aus dem Ursprungsgebiet dieser Venen mitführt, durch Anfügung eines gelben Streifens angedeutet.

Das Schema ist in der Weise angeführt, daß *das linke Herz* (Vorkammer und Kammer) mit seinem Schlagvolumen von 60 ccm **am linken Rande der Tafel** graphisch wiedergegeben ist. Hieran schließt sich die *Aorta*, deren Länge 46 cm beträgt, woraus sich ihr Volumen bei einem durchschnittlichen Querschnitt von 6 qcm auf 276 ccm berechnet. Die *Äste der Aorta* sind entsprechend ihrer Länge (in cm gemessen) graphisch in der Weise dargestellt, daß 1 cm ihrer Länge 1 mm Länge entspricht, und daß *je 1 ccm ihres aus Länge und Querschnitt berechneten Inhalts als 1 qmm eingetragen* ist, so daß die Höhe des Rechtecks, in mm, dem Gefäßdurchmesser in qcm entspricht. Die weitere *Wegstrecke bis an die Capillaren* ist zusammengefaßt dargestellt, d. h. die Wegstrecken der Hauptverzweigungsgebiete, nach cm gemessen, werden durch die Länge verschiedener Balken in mm ausgedrückt, während der schätzungsweise Inhalt dieser Gebiete in der Weise aufgetragen wird, als ob sich das Gesamtvolume dieses Abschnitts auf *ein Rohr von allenthalben gleichem Querschnitt* verteilt. — Auf diese Weise ist *das gesamte Arterienvolumen, zusammengefaßt in 16 Körperabschnitten* bzw. Organen, zur Darstellung gebracht worden. Die Beziehungen der einzelnen Gebiete zu der Aorta oder ihren Hauptästen sind durch schwarze Linien dargestellt, welche nur die allgemeine Beziehung andeuten und nicht als Darstellung von Längenmaßen durch Wegstrecken aufzufassen sind. — (Die intralienalen und intrarenalen Gefäße sind zum Capillargebiet gezogen.)

Das *Capillargebiet* ist in der Weise wiedergegeben, daß der schätzungsweise Inhalt auf ein Rechteck von je 10 mm Höhe verteilt wurde; hierbei ergeben sich Rechtecke von sehr verschiedener Breite (vgl. Nebennieren einerseits, Nieren und Milz andererseits). In diesem mittleren Gebiet des Schemas ist also mit Rücksicht auf die Darstellbarkeit auf einem übersichtlichen Blatt von der im übrigen Schema durchgeführten Regel, daß 1 mm horizontaler Strecke 1 cm Weglänge bedeutet, abgewichen; die Weglänge dieses Capillarabschnittes ist durchschnittlich auf 1 mm zu schätzen (die Milz hat abweichende Verhältnisse; in der Niere sind 3 hintereinanderliegende Gefäßgebiete durch 2 Capillarzonen geschieden, letztere sind mit dem zwischen beiden liegenden Gebiet vereinigt dargestellt).

Auf der rechten Seite des Schemas schließen sich die *16 streifenförmigen* Felder an, welche den *Venengebieten von den Capillaren bis zu den großen Hauptvenen entsprechen*. Hinter die Venengebiete von Milz, Magen und Darm ist das große Reservoir der *Leber* mit seinem weiträumigen intrahepatischen zu- und abführenden Gefäßsystem und seinem beträchtlichen Capillargebiet eingeschaltet, welchem das *Hauptreservoir* der *Vena cava inferior* folgt. Das sich an die venösen Gefäßgebiete der oberen Körperhälfte anschließende Sammelgebiet der *Vena cava superior* ist demgegenüber nur unbedeutend (hier stellen die Hirnsinus das Hauptsammelbecken dar).

Am rechten Ende des Schemas ist die *rechte Vorkammer und Kammer* sowie der *Lungenkreislauf* seinem Volumen nach, letzterer auch wie die übrigen Gefäßabschnitte seiner Wegstrecke entsprechend, graphisch dargestellt.

Die **Gesamtübersicht** ergibt eine *Blutmenge* von 4 200 ccm, von welcher sich etwa $\frac{1}{10}$ in der Lunge und $\frac{1}{10}$ in den Capillaren befindet; das übrige Blut verteilt sich auf venöse und arterielle Gebiete ungefähr im Verhältnis 2:1. Die kürzeste *Wegstrecke* wird auf dem Coronarkreislauf zurückgelegt (etwa 25–30 cm), die längste in den unteren Extremitäten (etwa 340 cm). Die *Geschwindigkeit*, mit der der Coronarkreislauf zurückgelegt wird, kann auf 5–6 Sekunden geschätzt werden, der über die unteren Extremitäten auf etwa 44 Sekunden. Diejenige Wegstrecke, welche am langsamsten zurückgelegt wird, ist aber zweifellos die über die Leber, welche auf etwa 80 Sekunden veranschlagt werden kann.

Das *arterielle Hauptreservoir* ist die Aorta, ein *gemischtes capilläres Hauptreservoir* ist die Milz, *venöse Hauptreservoir* befinden sich in dem Hirnsinus, in den Dünndarmvenen, der Leber und der Vena cava inferior. Schließlich stellt die Lunge, das am raschesten durchströmte große Körperorgan, ein gemischtes Hauptreservoir dar.

Tafel II.

Übersichtsschema der Arterien des Menschen.

Darstellung der Größenordnungen.

Abb. 1. Arteriensystem des Erwachsenen.

In die einzelnen Arterien sind die Gefäßdurchmesser nach *Vierordt* eingetragen. Nach den Durchmessern sind die Arterien bzw. die Gefäßabschnitte in Größenordnungen eingeteilt. Von dem Durchmesser des Aortenanfangs — 32 mm — ausgehend, ergeben sich für die im Schema dargestellten Gefäße 6 Größenordnungen, wenn jede folgende Größenordnung durchschnittlich den halben Gefäßdurchmesser aufweisen soll wie die vorhergehende. Es ergibt sich folgende Übersicht:

	D ¹	Durchflußmenge berechnet	
		nach <i>Poiseuille</i>	nach <i>Thoma</i>
1. 32 (bis 24) mm violett	450 cm	32 768	82 500 mm ³ sec
2. (23 bis) 16 (bis 12) mm rot	135 cm	4096	15 000–18 000 mm ³ sec
3. (11 bis) 8 (bis 6) mm orange	66 cm	512	7000–8000 mm ³ sec
4. (5,9 bis) 4 (bis 3,0) mm gelb	21 cm	64	1400–1800 mm ³ sec
5. (2,9 bis) 2 (bis 1,5) mm grün	7,5 cm	8	200–300 mm ³ sec
6. (1,4 bis) 1 (bis 0,8) mm schwarz	3 cm	1 ²	25–50 mm ³ sec

Die Tabelle gibt einen Überblick über die Geschwindigkeiten und die Durchflußmengen in den wichtigsten Gefäßen; die Geschwindigkeiten verhalten sich wie die Quadrate der Durchmesser, die Durchflußmengen wie die vierten Potenzen der Durchmesser (*Poiseuillesches Gesetz*).

Der 1. *Größenordnung* gehört beim Erwachsenen der Aortenbogen an, der 2. die Aorta descendens und die A. anonyma, ferner der rechte und linke Hauptast der A. pulmonalis. — Zur 3. *Größenordnung* rechnen die Carotis communis und die A. subclavia einschließlich der A. brachialis, ferner die A. coeliaca, die A. mesenterica superior und die Aa. renales, schließlich die Iliaca communis beiderseits,

¹ D Durchströmungsverhältnis, d. h. Länge der Strombahn, für welche 1 mm Hg verbraucht wird (reziproker Wert des Druckgefälles, *Thoma* I. c. S. 1210).

² D. h. Verhältnisziffer, wenn die Durchflußmenge beim Durchmesser 1 mm — 1 gesetzt wird.

die Iliaca externa und A. femoralis bis zur A. poplitea einschließlich nebst der A. profunda femoris. — Zur 4. Größenordnung zählen die beiden Herzwandarterien, die Carotis interna nebst der A. cerebri media und die A. vertebralis, ferner die A. carotis externa mit einigen wichtigen Hauptästen, der A. thyreoidea superior, der A. lingualis, der A. maxillaris externa und schließlich dem Endaste der A. maxillaris interna; ferner gehört zu dieser Größenordnung der Truncus thyreoideus, die A. mammaea interna und die Transversa colli, die A. thoracalis lateralis und die A. subscapularis, die A. profunda brachii, die A. radialis und ulnaris; am Rumpf gehören hierzu die unteren Rippengefäße etwa von der A. intercostalis VI—XI, sowie die A. mesenterica inferior, im Becken die A. hypogastrica mit ihrem Ramus visceralis und parietalis, dem Endast des letzteren, der A. glutaea superior, und den beiden Endästen des ersten, der A. pudenda interna und glutaea inferior. Von größeren Ästen der A. femoralis gehören hierzu die A. circumflexa femoris lateralis und medialis, schließlich am Unterschenkel die A. tibialis antica und postica. — Zur 5. Größenordnung rechnen neben vielen anderen Arterien die A. cerebri anterior und die A. ophthalmica, die A. temporalis superficialis, die A. occipitalis und A. sterno-cleidomastoidea; von Seitenästen der Subclavia der Truncus costo-cervicalis und die A. thoraco-acromialis, ferner am Arm die A. circumflexa humeri anterior, die A. collateralis ulnaris superior und inferior, an der Hand der von der A. radialis stammende Teil des Arcus volaris profundus und der von der A. ulnaris stammende Teil des Arcus volaris superficialis; am Rumpf gehören hierzu die Aa. intercostales der oberen Brust- und der Lendenwirbelsäule, ferner die Aa. bronchiales und die A. spermatica interna, im Becken die A. ileo-lumbalis und die A. sacralis lateralis vom Ramus parietalis der Hypogastrica, ferner die A. obturatoria und die A. vesicalis superior und inferior vom Ramus visceralis der Hypogastrica; als Seitenäste der A. iliaca externa sind in dieser Ordnung die A. circumflexa ileum profunda und die A. epigastrica zu nennen, am Unterschenkel die A. peronaea und schließlich am Fuß die A. arcuata und der Arcus plantaris. — Von Arterien, die zur 6. Größenordnung zählen, kann hier nur eine sehr kleine Auswahl wichtiger Äste angeführt werden: im Hirn ist hierzu die A. chorioidea, im Rachen die A. pharygea ascendens zu rechnen, am Rumpf sind es die Aa. oesophageae, die Rr. pericardiaci und mediastinales und die Aa. suprarenales mediae, im Becken die A. deferentialis bzw. uterina; ferner gehört hierzu an der Hand das radiale Verbindungsstück des Arcus volaris profundus zur A. ulnaris.

Bis zu den Capillaren lassen sich 6 weitere Größenordnungen unbenannter Arterien aufstellen (vgl. die Textabb. S. 550):

7. (0,7 bis) 0,5 (bis 0,375) mm
8. (0,374 bis) 0,25 (bis 0,188) mm
9. (0,187 bis) 0,125 (bis 0,094) mm
10. (0,093 bis) 0,063 (bis 0,048) mm
11. (0,047 bis) 0,032 (bis 0,024) mm
12. (0,023 bis) 0,016 (bis 0,012) mm
13. (0,011 bis) 0,008 (bis 0,006) mm

Die letzte (13.) Stufe bilden die Capillaren.

Für vergleichend-biologische Zwecke würde sich empfehlen, die unterste Stufe (Capillaren) als 1. Stufe zu bezeichnen und von hier aus aufsteigend weiterzuzählen, da die kleinsten Gefäße in verschiedenen Tierklassen und Altersstufen derselben Größenordnung (0,008 mm) angehören.

Es ist bemerkenswert, daß die Hauptabzweigungen der Aorta nach dem Kopf, den Baucheingewinden (Magen bzw. Darm) und den Extremitäten sämtlich der 3. Größenordnung angehören; der durchschnittliche Durchmesser am Abgang dieser Gefäße beträgt 9 Millimeter:

Carotis communis	9 mm
A. subclavia	10—11 mm
A. axillaris	9 mm
A. coeliaca	9 mm
A. mesenterica sup. . . .	9,6—10,1 mm
A. iliaca communis	11—12 mm
A. iliaca externa	9,6 mm
A. femoralis	9 mm

Abb. 2. Arteriensystem des Neugeborenen.

Von dem Durchmesser des Aortenanfangs — 8,2 mm — ausgehend ergeben sich für die im Schema dargestellten Gefäße 5 Größenordnungen, wenn jede folgende Größenordnung durchschnittlich den halben Gefäßdurchmesser aufweisen soll wie die vorhergehende:

1. (3.) 8,2 (bis 6,0) mm violett
2. (4.) (5,9 bis) 4,1 (bis 3,0) mm rot
3. (5.) (2,9 bis) 2,0 (bis 1,5) mm orange
4. (6.) (1,4 bis) 1,0 (bis 0,8) mm gelb
5. (7.) (0,7 bis) 0,5 (bis 0,375) mm grün

Der Vergleich des Schemas mit dem der Abb. 1 zeigt, daß die Gefäßdurchmesser vom Aortenanfang nach den peripheren Gefäßen zu an der Aorta und ihren Hauptästen beim Erwachsenen rascher abnehmen als beim Neugeborenen, und zwar wie folgende Übersicht zeigt:

	Erwachsener:	Neugeborener:
1. (3.) Größenordnung:	Aortenbogen	Gesamte Aorta
2. (4.) Größenordnung:	Aorta desc., Anonyma	Carotis comm., Iliacae, Hypogastricae
3. (5.) Größenordnung:	Carotis comm., Subclavia, Iliacae, Femoralis; Brachialis, Rennales.	Subclavia, Femoralis, Rennales.
4. (6.) Größenordnung:	Carotis int. und ext.; Hypogastrica, Unterarm und Unterschenkel.	dieselben Gefäße wie beim Erwachsenen.

Von der 4. Größenordnung an (Carotis interna und externa, Hypogastrica, A. radialis und ulnaris, Tibialis ant. und post.) gleicht sich aber dieser Unterschied aus. — Die Abweichung beim Neugeborenen besteht also in einer relativen Weite der Aorta descendens, der Carotiden und Iliaceen.

Dies bedeutet, daß sich beim Neugeborenen ein größerer Anteil des Gesamtblutes in den zentralen Gefäßen befindet als beim Erwachsenen, und daß die Geschwindigkeiten und Durchflußmengen in den Hauptgefäßen in geringerem Maße abnehmen als beim Erwachsenen. Die Geschwindigkeit in den Capillaren ist die gleiche.

Tafel III.

Untersuchungen am lebenden Tier.

Methode des Verbleibs kleiner Mengen.

A. Durchschnittliche Versorgung der Organe nach eigenen Untersuchungen am Schwein und Meerschweinchen. (Vgl. Haupttext S. 560—567.

Abb. 1. (Schwein I, Meerschweinchen 2, 56, 57, 60, 61, 63).

Die am besten (raschesten) versorgten Organe sind:

1. Herzwand; verlängertes Mark und Hypophyse (mittlerer Abschnitt), Nebennieren.

2. Groß- und Kleinhirn, Rückenmark.

Eine mittlere Versorgung haben:

- 3. Nieren,
- 4. Milz und Dünndarm.

Die am trächtigsten versorgten Organe sind:

- 5. Die ruhende Muskulatur,
- 6. a) die Genitaldrüsen,
- b) das Knochenmark.

Schwein, Meerschweinchen (Meerschweinchenschema).

B. Förderung der Strömung durch verschiedene Einflüsse. (Vgl. Haupttext S. 575—577.)

Förderung durch Wärmewirkung.

Abb. 2 a u. b. Linkes Vorderbein und rechtes Hinterbein erwärmt. — Verstärkte Durchströmung dieser Gliedmaßen, der linken Lunge, der linken Carotis und linksseitigen Conjunctiva. Schwein IV (Schweineschema).

Förderung durch chemischen Reiz.

Abb. 2 c. Einbringen von 12 ccm Milch transperitoneal in eine Dünndarmschlinge. — Verstärkte Durchblutung der betreffenden Darmschlinge. Schwein I (Schweineschema).

Förderung durch hormonalen Reiz.

Abb. 3. Injektion von 10 ccm einer Suprareninlösung 1:10 000 in das linke Herz. — Zentralnervensystem und Extremitäten (besonders distale Abschnitte) in ihrer Versorgung gefördert, an das Portalgebiet anschließende Organe vernachlässigt. Schwein II und III (Schweineschema).

Tafel IV.

Relative Durchströmung der Organe

nach Stromuhrmessungen, zumeist am Hunde erhalten.

(Zusammenstellung der Ergebnisse aus dem Schrifttum.)

(Vgl. Haupttext S. 571 u. 572).

Abb. 1. *Relative Durchströmung der Organe pro Minute „in % des Organgewichts“* (unter Gleichsetzung des spezifischen Gewichts der Organe mit dem des Blutes) vgl. Text S. 569 u. Tabelle 8, S. 570 (eingetragen in das Schema eines Neugeborenen wie S. 558, Abb. 4 a, Ansicht von vorn).

Abb. 2. Dasselbe — (dasselbe Schema wie S. 559, Abb. 4 b —, Ansicht von hinten).

Die Versorgungsgrößen verhalten sich wie

- | |
|--|
| zu 1 (grün = Extremitäten) |
| zu 4 (gelb = Magen-Darm) |
| zu 12 (orange = Submacillaris, Pankreas) |
| zu 25 (rot = Gehirn, Nieren) |
| zu 100 (violett = Schilddrüse, Nebennieren). |

Tafel V.

A. Grundtypus der relativen Durchströmung nach Versuchen am Neugeborenen.

(Vgl. Haupttext S. 592 u. 593.)

Abb. 1 a. Vergleichende Darstellung der durchschnittlichen Aufnahmefähigkeit der Organe (eingetragen in das Organschema eines Neugeborenen, Ansicht von vorn), vgl. Text S. 592 u. 593.

Abb. 1 b. Dasselbe (Organschema wie a, Ansicht von hinten).

B. Die Mischungsgebiete.

(Vgl. Haupttext S. 585 u. 586.)

Abb. 2. Das *Durchmischungsgebiet im Bereich der A. basilaris und des Circulus Willisii* (Organschema des Neugeborenen), vgl. Text S. 585 u. 586. — Hauptsächliche Versorgung durch die Carotiden; Mitversorgung von Kleinhirn und Hypophyse durch die Vertebrales, deren Stromgebiet nach vorn bis zu den Aa. communicantes posteriores reicht.

Abb. 3a. Die Verteilung an der Vorderseite des Unterarms und der Handfläche (Hautschema des Erwachsenen), vgl. Text S. 585. — Die Grenzlinie zwischen dem Gebiet der Radialis und Ulnaris halbiert den Unterarm und verläuft an der Hand über den Mittelfinger.

Abb. 3 b. Dasselbe, die Verteilung an der Rückseite des Unterarmes und dem Handrücken. — Die Grenzlinie halbiert den Unterarm und verläuft an der Hand längs des 4. Fingers.

Das *Mischgebiet der Hand* umfaßt im wesentlichen den ulnaren Abschnitt der Hand (grüne Farbe).

Abb. 4a. Die Verteilung an der Vorderseite des Unterschenkels und am Fußrücken (Hautschema des Erwachsenen), vgl. Text S. 585. — Die Grenzlinie zwischen den Gebieten der A. tibialis antica und postica zieht auf der Tibiakante nach abwärts und vor dem inneren Knöchel herum zur Fußsohle.

Abb. 4 b. Dasselbe, an der Hinterseite des Unterschenkels und der Fußsohle. — Die Grenzlinie überquert die Fußsohle in der Gegend des *Chopartschen* Gelenkes, wendet sich hinter dem äußeren Knöchel nach aufwärts und verläuft an der Wade in der Medianlinie.

Das *Mischgebiet am Fuß* umfaßt im wesentlichen den vorderen Abschnitt der Fußsohle (grüne Farbe).

Tafel VI.

Hydrostatische Bedingungen.

(Vgl. Haupttext S. 615, 618, 620 u. 621.)

A. Verteilung der Durchströmungsflüssigkeit bei Kopfstellung mit und ohne Wasserbad (arterielle Durchströmung).

Abb. 1. Kopfstellung *ohne Wasserbad*, Durchströmung von der Aorta aus (K 11), vgl. Text S. 615. Bevorzugt: Kopfschwarze; Großhirn, Kleinhirn, Bulbi, Thymus, Lungen. — a) Organschema des Neugeborenen von vorn (nur die Orte verstärkter Capillarfüllung sind eingetragen). b) Dasselbe von hinten.

Abb. 2. Kopfstellung *im Wasserbad* (bis Nabelhöhe) Durchströmung von der Aorta aus (K 12), vgl. S. 620 u. 621. Bevorzugt: Kleinhirn, Rückenmark, tiefe Rückenmuskulatur. — Organschema des Neugeborenen von hinten.

B. Verteilung einer Durchströmungsflüssigkeit bei Seitenlage (arterielle Durchströmung).

Abb. 3 a. Der Schwerkraft entsprechende Füllung im nach unten hängenden Arm, nach unten liegender Thymushälfte und nach unten liegendem Dünndarmabschnitt. — Organschema des Neugeborenen von vorn (K 10), S. 618.

Abb. 3 b. Paradoxe Füllung in der nach oben liegenden Kleinhirnhälfte, der nach oben liegenden Zwerchfellhälfte und der nach oben liegenden Niere. — Organschema des Neugeborenen von hinten, vgl. Text S. 618.

Tafel VII.

Wirkung verschiedener Temperaturen.

(Vgl. Haupttext S. 632—637, 639.)

A. Temperatureinwirkungen von außen.

Abb. 1. Einwirkung von Wärme auf die Versorgung der Haut; links Wasserbad 42° , rechts Zimmertemperatur, Temperatur des Neugeborenen 37° (vgl. Text S. 639). — Rascheres Fortschreiten der Fleckenbildung auf der erwärmten Seite zu dichterer Ausbreitung. — Hautschema des Neugeborenen von vorn.

Abb. 3. Dasselbe, jedoch links Wasserbad von $11,5^{\circ}$ (vgl. Text S. 639). — Langsamere und spärlichere Fleckenbildung auf der abgekühlten Seite. — Hautschema des Neugeborenen von vorn.

Abb. 2. Nach Entfernung von linker Thorax- und Bauchwand zur *Freilegung von Pleura und Peritoneum*. Eintauchen der linken Körperhälfte für 5 Minuten in ein Wasserbad von 40° ; dann Injektion von 8 ccm Testflüssigkeit in die Nabelvene (nach Vorlauf von 150 ccm) (K 9 a) (vgl. Text S. 634 u. 635, 636 u. 637). — Stärker versorgt: Linke Leberhälfte, linker Lungenhilus, linke Thymushälfte; Gefäß vor dem linken Ohr. — Organschema des Neugeborenen von vorn.

B. Temperatureinwirkungen vom Gefäßinnern aus.

Abb. 4. Einfließen von je 5 ccm Testflüssigkeit in die linke und rechte A. iliaca externa, und zwar links Lösung von 45° , rechts Lösung von $11,5^{\circ}$; Druck beiderseits gleich; Körpertemperatur $36,5^{\circ}$. Einströmungszeit der warmen Lösung 30 Sekunden, der kalten Lösung 22 Sekunden (K 42 a) (vgl. Text S. 632—634). — Im warm durchströmten Bein ist die periphere Versorgung (Haut, feine Muskelgefäße) und die distale Versorgung (Fuß) bevorzugt; im kalt durchströmten Bein sind die zentralen Hauptgefäße stärker gefüllt. — a), b) Hautschema des Neugeborenen von vorn und hinten. c) Organschema des Neugeborenen von hinten.

Tafel VIII.

Hormonale Wirkungen.

(Wirkung von Suprarenin.)

(Vgl. Haupttext S. 666 u. 667, 672 u. 673.)

A. Verteilung einer an der A. anonyma eingelassenen Testflüssigkeit.

Abb. 1. Durchströmung von der Anonyma aus mit 10 ccm suprareninhaltiger Testlösung (1: 15 000) nach 20 ccm Vorlauf von gleichem Suprarenin gehalt. Rectaltemperatur $31,5^{\circ}$ (K 29 a) (vgl. Text S. 672 u. 673). — Distalwärts begünstigte Verteilung im rechten Arm; weitgehendes Hintertauschen nach der linken Kopfseite, besonders der Haut. Am Thorax Injektion bis zur 5. Rippe abwärts, links wie rechts. — a), b) Hautschema des Neugeborenen von vorn und hinten. c), d) Organschema des Neugeborenen von vorn und hinten.

B. Vergleichende Durchströmung der Beine mit einer suprareninhaltigen Testlösung (links) und einer suprareninfreien (rechts).

Abb. 2. Durchströmung der linken A. iliaca externa mit 5 ccm einer suprareninhaltigen Testlösung (1: 20 000) nach 10 ccm Vorlauf von gleichem Suprarenin gehalt; vergleichende Durchströmung der rechten A. iliaca externa mit suprareninfreien Lösungen in gleichen Mengen, d. h. 5 ccm Testlösung nach 10 ccm Vorlauf (K 29 b) (vgl. Text S. 666 u. 667). Distalwärts begünstigte Verteilung der suprareninhaltigen Testlösung am Bein. — a), b) Hautschema des Neugeborenen von vorn und hinten. c), d) Organschema des Neugeborenen von vorn und hinten.