Die Methoden zur Bestimmung des Blutdrucks beim Lebenden und ihre Bedeutung für die Praxis.¹⁾

Von F. Kraus.

M. H.! Das Referat über die klinischen Methoden zur Bestimmung des arteriellen Blutdrucks und ihre Bedeutung für die Praxis habe ich auf Wunsch des Vorstandes übernommen. In betreff vieler Einzelheiten verweise ich auf die neuesten einschlägigen Berichte von Tigerstedt und O. Müller, auf die Abhandlung Nicolais in Nagels Handbuch und einen vor einiger Zeit in diesem Verein gehaltenen Vortrag F. Klemperers. Ich selbst möchte das Hauptgewicht auf klinisch-praktische Bedürfnisse und die Demonstration legen.

Mit Bezug auf die beim Blutdrucke wirksamen Kräfte kann man denselben betrachten als durch die eigene Schwere der Flüssigkeit bedingt (hydrostatischen Druck) und als durch Einwirkung von außen erzeugt (hydraulischen Druck).

Auf den eventuellen (hydraulischen) Mitteldruck, der bei stillstehendem Herzen mit der Druckausgleichung im ganzen Gefäßsystem sich herstellt, will ich hier garnicht eingehen. Während des Lebens ist es in letzter Linie das Herz, welches den hydraulischen Druck des Blutes hervorbringt. Maßgebend für das Zustandekommen des Druckes ist die Enge der einer gedrückten Flüssigkeit zur Verfügung stehenden Abflußöffnungen, sodaß dieselbe dem steilen Druckzuwachs nur langsam ausweicht. Nicolai vergleicht den Vorgang mit dem kräftigen Einstoßen eines Spritzen-

1) Referat im Verein für Innere Medizin in Berlin am 4. Januar 1909.

stempels; besonders wenn es sich nicht um starre, sondern um bewegliche, elastische Wände handelt, ist durch Erweiterung des Rohrs gewissermaßen ein Ausweg geschaffen; es kommt nicht bloß eine Strömung, sondern auch eine Druckerhöhung zustande. Das Herz entspricht dem Druckpumpenstempel, die Capillaren der Kanüle. Die Druckerhöhung vermehrt auch die Strömung. Im Intervall zwischen zwei Systolen ist jedesmal eine gewisse Blutmenge durch die Capillaren abgeflossen. Bedingt durch den in der Arterienwand aufgespeicherten Druck und die Weite der Ausflußöffnung, stellt sich ein stationärer Zustand ein. Aus dem arteriellen System strömt das Blut durch die Capillaren in die Venen, welche nach Nicolai ein stets aufnahmefähiges, auf niedrigem Druck gehaltenes Reservoir darstellen.

Beim stoßweisen Einstromen in bereits gefüllte ausdehnbare und elastische Röhren pflanzt sich nämlich eine positive Welle durch die Röhre fort (indem sich die Röhre jedesmal durch den Druck der einströmenden Flüssigkeit ausdehnt und hinter der fortgeflossenen Flüssigkeit sich wiederum zusammenzieht, wodurch in einer Reihenfolge von der Einstromungsstelle an alle Teile der Röhre einer Ausdehnung und Zusammenziehung unterliegen: Puls), und die von dieser Wellenbewegung zu unterscheidende Strombewegung erfolgt kontinuierlich, bei jeder Einstromung nur etwas beschleunigt, in der Richtung vom stärkern zum schwächeren Druck, sodaß durch alle Durchschnitte in gleichen Zeiten gleiche Flüssigkeitsmengen fließen. Die Triebkraft der Strombewegung nimmt fortwährend ab infolge des (Reibungs-)widerstandes. In den Blutgefäßen ist der Widerstand hauptsächlich in den kleinen Arterien und Capillaren zu suchen. Deshalb nimmt, trotz der verhältnismäßig großen Geschwindigkeit des Blutumschlages, der Seitendruck in den Arterienstämmen langsam ab. In gleich weiten Röhren, also bei überall gleicher Stromgeschwindigkeit, kommt die an jedem Punkte gefundene Druckhöhe dem Widerstande gleich, der noch bis zur Ausflußöffnung überwunden werden muß. Der Druck, unter welchem die strömende Flüssigkeit steht, ist der bereits erwähnte hydraulische schlechthin. Die Stromgeschwindigkeit v wird bestimmt aus dem Lumen l der Röhre und der innerhalb einer bestimmten Zeit durchfließenden Flüssigkeitsmenge q , $v = q : l$. Aus der gefundenen Geschwindigkeit läßt sich eine Geschwindigkeitshöhe berechnen, nämlich aus welcher Höhe ein Körper im luftleeren Raum fallen muß, wenn er die gegebene Geschwindigkeit erlangen soll. Dies geschieht nach der bekannten Formel $F = \frac{v^2}{4g}$.

Die Summe der in einem untersuchten Teile der Röhre gefundenen Druckhöhe (D) und dieser Geschwindigkeitshöhe (F) ist die Triebkraft, welche an dieser Stelle die Flüssigkeit fortschiebt. Die Geschwindigkeitshöhe wird gewöhnlich als eine Druckhöhe angesehen, welche darauf verwendet wird, den Flüssigkeitsteilchen die Geschwindigkeit v beizubringen.

Seien M und M_1 Piezometer an einem Rohr, in unmittelbarer Nähe angebracht. In der unten trichterförmig erweiterten Röhre M_1 ist dann h_1 höher als h . Wäre M_1 ein Piezometer wie M , müßte der wahre Druck bei M_1 , h_2 , niedriger sein; $h_1 - h_2$ ist gleich der Geschwindigkeitshöhe. Die auf M_1 zueilenden Wasserteilchen werden im Trichter ihrer Geschwindigkeit beraubt und geraten in Spannung, welche die Flüssigkeit in M_1 so lange in die Höhe treibt, bis der Druck h_1 dieser Spannung und dem sonst herrschenden Druck h_2 Gleichgewicht hält (Fick). Bei derjenigen klinischen unblutigen Druckmessung, welche auf der Methode des vollständigen Verschlusses beruht, wird die Komponente Geschwindigkeitshöhe, welche aber in der Norm, im Verhältnis zur Triebkraft sehr klein ist, und überdies die Energie der gestauten Pulswelle mitgemessen. Der durch Bewegung erzeugte Druck ist auch „hydrodynamischer“ genannt worden.

Der (hydraulische) Druck, also die ursprünglich vom Herzen hervorgerufene, durch das Blut übertragene Wandspannung der Arterien, ist durch eine Reihe von Faktoren bestimmt bzw. mitbestimmt, welche Nicolai in folgendem Schema darstellt:

Der tatsächlich jeweils herrschende Druck bezeichnet einen speziellen Gleichgewichtszustand zwischen diesen Faktoren.

Die klinische Kymographik ist naturgemäß eine unblutige, indirekte. In der Praxis bewährt haben sich, trotz der Einwen-

dungen, welche sich bisher gegen jedes Verfahren, am Leben den arteriellen Blutdruck zu bestimmen, berechtigterweise erheben lassen, die Methode des völligen Verschlusses (Vierordt) und die Methode der entspannten Arterienwand (Marey). Eine dritte Methode, die des übertragenen Druckes (Hürthle), erlangt vielleicht in einer interessanten Modifikation, der Sahlischen Sphygmobolometrie, welche die vom Puls geleistete Arbeit mißt, eine klinische Bedeutung.

Was die Methode der entspannten Arterienwand betrifft, wies Marey 1876 darauf hin, daß die Gefäßwand bei dem mit jeder Pulswelle einhergehenden Druckablauf dann die größten Exkursionen mache, wenn sie möglichst wenig gespannt ist. Wird auf die Arterie, welche durch einen Binnendruck in Spannung gehalten wird, ein ebensogroßer Druck von außen geübt, „flottiert“ die Wand „frei“ zwischen Blutdruck und künstlichem Außendruck. Wenn die beobachteten Schwankungen, welche eine pulsierende Arterie direkt auf das komprimierende Mittel überträgt, am höchsten sind, nimmt Marey an, daß in der Umgebung des Gefäßes der mittlere Blutdruck vorhanden sei. Ich glaube jedoch, daß man den Moment des von außen äquilibrierten Binnendrucks, in welchem die maximalen Exkursionen stattfinden, besser als Minimum bezeichnet. Ein grundsätzlicher Fehler der Methode kann darin liegen, daß die größtmögliche Dehnbarkeit der lebenden Arterienwand nicht wirklich bei dieser Entspannung liegt. Einstweilen muß man jedoch die etwaige Verschiebung des Moments der größten Bewegungen durch eine solche vitale Druckanpassung noch dahingestellt sein lassen. Das Oszillationsmaximum selbst wird am besten graphisch bestimmt.

Die Methode des völligen Verschlusses komprimiert mit einer meßbaren Kraft die Arterie, bis das Blut gerade zu fließen aufhört. Erforderlich hierzu ist eine Kraft, welche die leere Arterie zusammendrückt und den Blutdruck samt der sogenannten Geschwindigkeitshöhe und der Energie der gestauten Pulswelle überwindet. Die Geschwindigkeitshöhe dürfte auch unter pathologischen Verhältnissen nie besonders viel ausmachen. Zum Verschließen einer normalen ungefüllten Arterie ist ein Druck von nicht mehr als 0,1 cm Hg nötig, sklerosierte Gefäße brauchen natürlich etwas mehr. Die Kompression der A. radialis in situ erfordert um 0,7 cm Hg mehr als die freiliegende. Hauptsache gegenüber diesen geringen Fehlern ist, keine mit Pelotten arbeitenden Instrumente zu benutzen; denn bei einseitig, von einer Stelle ausgeübtem Druck kann das Gefäß ausgleiten. Gärtner legte einen „pneumatischen Ring“ bloß um den Finger, Riva-Rocci nahm die Kompression mittels eines um den Arm gelegten, durch Luft aufzublasenden Gummischlauchs vor. v. Recklinghausen fand, daß bessere Werte erhalten werden, wenn man die 6 cm breite Manschette von Riva-Rocci möglichst breit macht (13 cm). Das Verschwinden des Pulses peripherisch von der Druckstelle kann palpatorisch, auskultatorisch, erubeszitorisch, oszillatorisch, sensorisch, sphygmographisch, plethysmographisch (und auch wohl noch anders) kontrolliert werden.

Sie werden, m. H., jetzt sehr viel lesen von „systolischem“ und „diastolischem“ Druck. Diese Ausdrücke sind jedoch zu verwerfen. Janeway hat 1901 gezeigt, daß bei der Methode des völligen Verschlusses, wenn der Manschettendruck das Minimum des pulsatorischen Druckablaufs übersteigt, der graphisch registrierte Radialpuls kleiner wird. Er bezeichnete also den Manschettendruck, bei dem die Exkursionen kleiner werden, als diastolischen Druck. Ihm folgten (teilweise) Masing, Strasburger und Sahli. Danach würde der diastolische Druck nur etwa 30 mm unter dem systolischen liegen. v. Recklinghausen dagegen schließt aus dem Größerwerden der Oszillationen des mit der Manschette verbundenen Manometers während der Eröffnungszeit derselben auf das Vorhandensein des diastolischen Druckes. Auch bei völligem Verschuß der A. brachialis durch starkes Aufblasen der Manschette treten nämlich in derselben noch kleine Druckschwankungen auf, wegen der pulsatorischen Stöße im verschlossenen Arterienende. Diese Druckschwankungen müssen in dem Augenblick größer werden, in welchem das in der Manschette eingeschlossene Arterienstück systolisch, zur Zeit des höchsten pulsatorischen Druckes, eben sich zu entfalten beginnt. Experimentelle Untersuchungen, welche dieses oszillatorische Ergebnis mit dem wirklichen diastolischen Minimum aus der eröffneten Arterie des Menschen exakt

manometrisch verglichen hätten, liegen aber bisher nicht vor. Nichts beweist also, daß ein solcher oszillatorischer oder ein sonstwie mit einem klinischen Blutdruckmesser gewonnener Wert getreu den diastolischen Druck im physiologischen Sinne angibt. Da außerdem bei Absinken des Manschettendruckes die großen Oszillationen durchaus nicht immer plötzlich aufhören und wesentlich kleineren Schwingungen Platz machen, ist es nach meiner Meinung besser, wenn man, teilweise auf Marey zurückgreifend, diejenige Phase, in welcher die Arterienwand entspannt, bzw. im Tiefpunkt des Pulsschlages von innen und außen annähernd gleich belastet, frei schwingen kann, unpräjudizierlich als Minimum festhält. Nach dieser Auffassung bedeutet das Erscheinen der folgenden kleineren Exkursionen schon eine Spannung der Wand durch den wiederum überwiegenden Innendruck, sowie der Manschettendruck unter dieses Minimum gesunken ist.

Auch statt „systolischen“ sagt man besser Maximaldruck, obwohl einige Messungen von O. Müller und Blauel (Hürthlesches Manometer!) im eröffneten Gefäß (A. brachialis, radialis bei Amputationen) ergaben, daß der v. Recklinghausensche Apparat mit der breiten Manschette (15 cm) bei palpatorischer Kontrolle nur zwischen 5 und 10% Fehler nach oben macht.

Es ist jedoch falsch zu glauben, daß mit dem Puls auch die Strömung unterhalb der Kompressionsstelle aufgehört hat. Wählt man das an sich genauere oszillatorische Maximum, welches erfahrungsgemäß höher liegt als das palpatorische, wird der Fehler gegenüber dem wirklichen systolischen Druck noch etwas größer. Kurz und gut, auch der „systolische“ Druck ist ebenfalls nicht, dem Sinn seiner Bezeichnung nach, eine streng physiologische Größe, sondern ein nach klinischen Bedürfnissen und auf seine praktische Brauchbarkeit zu diskutierender Nahrungs- und Maximalwert. Es ist aber nicht zu bezweifeln, daß in der klinischen Kymographik gerade die Verzeichnung der pulsatorischen Schwankung die Idealcurve verhältnismäßig treu wiedergibt. Ein besonders auch physiologisch überraschendes Ergebnis ist bereits gesichert: die so auffallend tiefe Lage des diastolischen Drucks beim Menschen. Die Differenz zweier auf einander folgenden Maxima und Minima heißt Pulsdruck (Amplitude). Manche setzen in halber Höhe der Druckamplitude den Mitteldruck an.

Ich demonstriere Ihnen nun, meine Herren, den Riva-Rocci-v. Recklinghausenschen Apparat, den Uskoffschen Sphygmotographen und das Gärtnersche Tonometer und deren Verwendung.

Auf jeder Blutschicht lastet ferner die Masse des vertikal darüber vorhandenen Blutes; dieses ist der hydrostatische Druck. Nirgend trägt dieser Druck zur Fortbewegung des Blutes bei; eher hat deswegen das Herz eine gewisse Mehrarbeit zu leisten. Vor allem aber führt die Schwerkraft in jeder Lage des menschlichen Körpers eine bestimmte stationäre Blutverteilung herbei, wobei der Schwerpunkt der Säftemasse so tief wie möglich zu liegen kommt. Es verdient immerhin auch klinischerseits größere Berücksichtigung, daß insbesondere ganz ungewohnte Körperlagen Blutverteilung und Blutdruck beeinflussen. Jede Aenderung der Lage übt übrigens auch indirekte Einflüsse auf die anderen Faktoren, welche bestimmend sind für Blutdruck und Blutverteilung (Herzschlag, Schlagvolum, Vasomotoren etc.). Im wesentlichen scheinen die regulatorischen Prozesse auf Splanchnicuswirkung zu beruhen. Nach E. Weber existiert wohl überhaupt ein gewisser Gegensatz in betreff der Blutverteilung zwischen Gehirn, Abdomen und Extremitäten. Ueble Folgen treten beim Menschen erfahrungsgemäß fast nur hervor unter dem gleichzeitigen Einfluß zweier weiterer Uebelstände: Anämie und herabgesetzter Gefäßtonus (Splanchnicusgebiet). Gerade unter diesen Verhältnissen sollte die Kompensierbarkeit des Einflusses der Schwere auch Gegenstand spezieller klinischer Fragestellungen bilden: Wie geschehen wichtige normale Verschiebungen des Blutes solcher Kranker bei ganz ungewohnten Körperlagen? Das nötige Instrumentarium und die Versuchstechnik verdanken wir E. Weber. Man braucht zwei Plethysmographen (Ohr, Extremitäten) und eine (modifizierte) Mossosche Wage. Herr Citron wird Ihnen die Apparate demonstrieren.