Das Pulsometer.¹⁾

Ein praktisches Instrument zur Bestimmung der Stromgeschwindigkeit des Blutes am lebenden Menschen.

Von Dr. Bruno Fellner jun. in Franzensbad.

Unser ganzes Bestreben in der modernen Kreislaufdiagnostik geht dahin, unser Palpationsgefühl durch Zahlen zu ersetzen und alle jene physikalischen Größen, welche wir im komplizierten Tierexperimente an der eröffneten Arterie durch mannigfaltige, sinnreiche Apparate mit mathematischer Genauigkeit bestimmen können, durch ebenso sinnreiche, einfachere, praktischere Methoden am lebenden Arterienrohr annähernd zu messen. Ja, Mathematik und Physik sind heute als Ergänzung zum Hörrohr und Perkussionshammer getreten.

Der erste wichtige physikalische Apparat war Basch's Sphygmanometer, und seitdem lastet der Blutdruck beinahe wie ein Alldruck auf der ganzen praktischen Arterienforschung.

Versuchte man zuerst durch die bloße Bestimmung des systolischen Blutdruckes die kompliziertesten Kreislaufprobleme zu lösen, so kam dann der diastolische Blutdruck und sein getreuer Knappe, der Pulsdruck, die wahre Pulsgröße in Mode, und man wollte auch hier wiederum Schlagvolumen, Herzkraft, ja alles mögliche nach genauen mathematischen Formeln bestimmen. Auch ich muß bekennen, daß ich mich selber ein wenig in dieser Sackgasse verannt hatte. Da kamen aber ein paar physikalisch geschultere und mathematisch genauer rechnende Köpfe und warfen unser ganzes stolzes Kartenhaus ein.

Wie weit stehen wir mit einer exakt mathematischen und physikalischen Pulsuntersuchung?

Der letzte strenge, aber gerechte Prüfungskommissär dieser Frage, Ottfried Müller, schließt seine eingehende Untersuchung mit dem Resümee: „So lange wir nicht die drei verschiedenen Untersuchungsmethoden des Arterienrohres, die Untersuchung des Druckpulses, Strompulses und Volumpulses, in einfacher Weise miteinander kombinieren können, ist jede Berechnung eine kühne Spekulation, aber keine mathematische Gleichung, denn wir arbeiten mit zu vielen Unbekannten.“

Vielleicht mag die nachfolgend dargestellte Kombination einiger neuerer Methoden in Verbindung mit einer von mir selbst gefundenen, erprobten und hier zuerst veröffentlichten Methode doch für die Zukunft einen weiteren Blick, neuere Bahnen eröffnen.

Restimieren wir kurz: Welche Größe konnten wir bisher ziemlich exakt bestimmen? Mittels der neueren Blutdruckmessungsmethoden (Riva-Rocci, Recklinghausen etc.) sind wir in der Lage, den systolischen und diastolischen Blutdruck mit einer für praktische Fälle genügenden Genauigkeit zu bestimmen.

Es freut mich dabei konstatieren zu können, daß verschiedene Autoren in der letzten Zeit, wie Fischer und auch Brugsch und Schittenhelm, in ihrem neuen Lehrbuch die von mir angegebene auskultatorische Methode allen anderen vorziehen. Sie ist auch tatsächlich die einfachste, ohne jede Vorübung leicht zu erlernende. Also die typische Methode für den Praktiker. Ihr vollkommen ebenbürtig, vielleicht noch präziser ist die Recklinghausensche. So wäre also der Druckpuls vollkommen genau zu analysieren.

Für den Volumpuls kommen die verschiedenen plethysmographischen Methoden in Betracht. So Ottfried Müllers neueste sinnreiche Quecksilbermethode. Ferner: Albert Müllers Bestimmung des Schlagvolumens des Herzens; hierher möchte ich auch speziell Sahlis sphygmobolometrische Methode rechnen. Den Beweis hierfür erbringe ich später. Wir sind nach allen diesen Methoden in der Lage, das Volumen der in der Arterie strömenden Flüssigkeitsmenge zu bestimmen.

Für die dritte Pulskomponente jedoch, für die Strömungsgeschwindigkeit, haben wir eigentlich keine praktisch brauchbare Methode. Hier wären nur die vereinzelt tachographischen Versuche nach Kries zu erwähnen, die aber höchstens Differenzen des Strompulses, nie aber absolute Zahlen ergaben.

Man könnte wohl daran denken, an einem Fall hintereinander Sphygmographie, Manometrie, Plethysmographie und Tachographie auszuführen; das wäre wohl in einzelnen Fällen klinisch möglich, praktisch käme diese Kombination wohl nicht in Betracht.

Nun habe ich mir die Frage vorgelegt, ob es nicht eine einfache Methode gäbe, nm die Stromgeschwindigkeit des Blutes an einer Arterie zu messen und so eine der wichtigsten Kreislauffragen zu lösen. Ich dachte zuerst daran, einen Farbstoff an einer Stelle einzuspritzen und dann die Zeit zu bestimmen, in welcher er an einer anderen erschiene. Dies erwies sich als unbrauchbar.

Da kam mir nun zufällig ein einfacher Gedanke, der eben die bestechende Gewalt der Einfachheit hatte. Das Instrumentarium

dazu ist äußerst einfach, die Untersuchung erfordert wenig Übung, und ich glaube doch, daß sie brauchbare Vergleichszahlen bringt. Wir bestimmen durch sie die mittlere Stromgeschwindigkeit des Blutes in einer Arterie. Das Prinzip ist folgendes: Wir bestimmen die Zeit, welche der Blutstrom braucht, um von einer Stelle des Oberarmes, wo wir ihn vorher künstlich unterbrochen, in die vorher blutleer gemachte Fingerbeere einzuströmen.

Die Technik ist kurz folgende: Am Oberarm, etwa 50 cm von der Fingerbeere entfernt, wird die Riva-Rocci-Manschette in gewohnter Weise angelegt, hierauf durch eine der gebräuchlichen Stauungsbinden das Blut von der Fingerbeere bis zur Manschette aus Venen und Capillaren getrieben. Nun wird die Manschette unter einen Druck gesetzt, der den vorher gemessenen systolischen Druck um 30–50 cm überschreitet. Der arterielle Zufluß ist nun gehemmt, die Stauungsbinde wird abgenommen, der Arm ist blaß, blut- und und pulslos. Zur einfachen Zeitmessung bediene ich mich eines Stop-Chronometers, wie es allgemein bei Wettrennen üblich ist. Im gegebenen Momente lasse ich das Rennen los, wie ich zu sagen pflege, d. h. während ich die Fingerbeere beobachte, setze ich mit der einen Hand das Chronometer in Bewegung und lasse gleichzeitig den Druck in der Manschette durch einen Hahn plötzlich absinken. Nun strömt das Blut in das früher leere Gebiet ein, und nach durchschnittlich zwei bis drei Sekunden rötet sich die Fingerbeere.

Der Beobachtungsmodus erinnert ganz an Gärtners Tonometrie. Man kann auch durch einen Gummifingerring einen Finger speziell noch vorher anämisch machen.

In dem Momente, wo sich die Fingerbeere zu röten beginnt, der erste Blutstropfen also sein Ziel erreicht, drücke ich wieder auf die Stopuhr, sie bleibt stehen, und ich lese bis auf $\frac{1}{10}$ Sekunden genau den Blutrekord ab. Ich weiß nun, in welcher Zeit das Blut einen Weg von etwa 50 cm zurückgelegt hat. Weg durch Zeit gibt mir die mittlere Geschwindigkeit.

Als Fehlerquelle wäre hier gleich zu besprechen:

1. spielt bei der Beobachtung einer Fingerbeere der capillare Kreislauf eine Rolle; dieser Fehler ist leicht auszuschalten.

Wir müßten nur noch eine zweite Messung vornehmen, indem wir in gleicher Weise wie früher die Manschette 25 cm unterhalb der ersten Stelle anlegen, dann können wir die Geschwindigkeit auf halbem Wege bemessen; ziehen wir nun von der Zeit, die das Blut zu 50 cm braucht, die Zeit ab, die das Blut für die Peripherie von 25 cm braucht, so gibt dies natürlich die Zeit, die das Blut für die zentralen 25 cm braucht. Diese Größe ist sicherlich noch genauer als die erste. Gerade aus der Differenz aber läßt sich oft auch ein wichtiger Schluß auf eine weitere, wichtige Zirkulationsgröße ziehen, nämlich auf die Geschwindigkeit des Capillarkreislaufes. Die capillare Verzögerung, wie ich sie nenne, schwankt in meinen Versuchen zwischen 0,1 und 0,7 Sekunden.

Schon hier möchte ich die auffallende Tatsache erwähnen, daß diese Zahl mit denen von Hales, Weber, Valentin, Volkmann und Vierordt gefundenen Zahlen für die Geschwindigkeit der Tiercapillaren auffallend übereinstimmt. Es läßt sich eine solche Methodik natürlich schwerer beschreiben, als selbst demonstrieren. Wer aber den einfachen Riva-Rocci-Apparat und eine Esmarch- oder Martinsche Binde besitzt, der wird sich mit Hilfe eines Stop-Chronometers leicht von der Einfachheit dieser Methode überzeugen können.

Ein zweiter berechtigter Einwand wäre:

Ich bestimme ja die Stromgeschwindigkeit in einem vorher abgeklemmten Gefäßgebiet. Diese ist erfahrungsgemäß größer als im ununterbrochenen Kreisläufe. Nun stehen wir aber erstens bei der Blutdruckmessung sowohl wie bei der Sphygmobolometrie wie bei allen anderen unseren Untersuchungsmethoden ja immer vor demselben Widerspruch, daß wir eben eine Strömung nur messen können, indem wir sie unterbrechen. Diesen Einwand hat auch Ottfried Müller in seiner Arbeit geschickt zurückgewiesen. Mögen nun vielleicht die absoluten Werte der so gefundenen Zahlen zu hoch sein, ihr relativer Wert wird dadurch nicht tangiert, es sind jedenfalls gute Vergleichszahlen.

Bei etwa 1000 Versuchen an gesunden und kranken Personen schwanken die Werte der Stromgeschwindigkeit in der Brachialis zwischen 200 und 400 mm pro Sekunde; Werte, die mit den Tieruntersuchungen von Vierordt, Chauveau, Cybulski etc. ausgezeichnet übereinstimmen.

Meine Methodik, eine so wichtige Zirkulationsgröße exakt zu bestimmen, ist wohl so einfach, daß sie einer sehr genauen Nachprüfung im Tierexperimente bedarf. Ich bin aber heute schon in der glücklichen Lage, durch folgende Formel den Beweis für die Brauchbarkeit meiner Methode zu geben.

Betrachten wir diese Formeltafel, so gibt sie uns den Grundriß für diesen Bau.

¹⁾ Demonstration auf der Naturforscher-Versammlung in Köln 1908.

Meßbar sind:	Formeln:	Gemessene Größen:
Diastolischer Blutdruck. Systolischer „ Pulsdruck.	Pulsdruck = systolischer Druck — diastolischer Druck.	Diastolischer Blutdruck. Systolischer „ Mittlerer „ Pulsdruck.
Bestimmt nach: Fellner oder Recklinghausen. Mittlerer Blutdruck Pulszahl mittels Uhr oder Chronometer. Schlagvolumen des Herzens im Brachialisgebiet. Plethysmographische Methode z. B. Ottfried Müller, Albert Müller etc. Sahli's Sphygmobolometrie. Hierbei wird bestimmt Schlagvolumen = Qu. Arbeitswert der Pulsweite = lebende Energie = A. Gemessen wird hierbei der sphygmobolometrische Ausschlag des Manometers = h. K = Konstanter Faktor für jede manometrische Bestimmung. Stromgeschwindigkeit des Blutes = V. Nach Fellner jetzt zu bestimmen.	= diastolischer Blutdruck + $\frac{1}{3}$ Pulsdruck. Qu = Schlagvolumen der Brachialis. A = K × (h + H) × h = Qu × mittlerer Druck. A = Schlagvolumen × Druck. Qu = $\frac{A}{\text{Druck}}$ Nach der Definition ist $V = \frac{Qu}{r^2 \pi} = \frac{\text{Schlagvolumen}}{\text{Querschnitt des Gefäßes}}$ $r^2 \pi = \frac{Qu}{V}$ Nach Recklinghausen: Pulsdruck mal Pulszahl = Schlagvolumen durch Elastizität. $= \frac{Qu}{Ei}$	Blutdruckmessung. Schlagvolumen. Arbeitswert der Pulsweite. Energie. Plethysmographisch oder sphygmobolometrisch. Stromgeschwindigkeit des Blutes neu nach Fellner. Querschnitt des Gefäßes durch Division von Schlagvolumen durch Stromgeschwindigkeit. Elastizität des Arterienrohres nach Recklinghausen = Schlagvolumen durch Pulsdruck mal Pulszahl.

Nach Recklinghausen ist $Pd \times Pz = \frac{Qu}{Ei}$ (Pulsdruck × Pulszahl = Schlagvolumen durch Elastizität).

$$I. Ei = \frac{Qu}{Pd \times Pz}$$

nach der Definition ist $V = \frac{Qu}{R^2 \pi}$ (Stromgeschwindigkeit = Schlagvolumen durch Querschnitt).

$$II. R^2 \pi = \frac{Qu}{V}$$

Wir sehen also, daß wir gegenwärtig alle nur wünschenswerten Zirkulationsgrößen, wie Blut und Pulsdruck, Schlagvolumen, Arbeit der Pulsweite, Stromgeschwindigkeit, Querschnitt und Elastizität des Arterienrohres auf diese Weise bestimmen könnten.

Nun gelangen wir ja eigentlich auf zwei ganz verschiedenen Wegen einerseits zu einer Bestimmung des Querschnittes des Gefäßes, andererseits der Elastizität des Gefäßes. Soll nun unsere ganze stolze Kreislaufbrücke die Belastungsprobe vertragen, so müßten jene Gesetze, welche für das Verhältnis der Elastizität des Gefäßes zu seinem Querschnitt längst theoretisch aufgestellt und experimentell geprüft wurden, auch bei der praktischen Bestimmung meiner beiden Zahlenreihen aufrecht bleiben.

Ich bin nun in der glücklichen Lage berichten zu können, daß die Rechnung stimmt. (Etwa 1000 Versuche an Gesunden und Herzkranken.) In einer ausführlichen Arbeit wird dies des längeren ausgeführt werden; daselbst werde ich auch über eine wichtige Verbesserung berichten, die ich an dem sphygmobolometrischen Instrumente von Sahli vorgenommen habe. Ferner hoffe ich auch meine Untersuchungen durch Beobachtungen der Stromgeschwindigkeit im venösen Kreislauf sowie an den unteren Extremitäten ergänzen zu können. Heute kann ich nur bitten, prüfen Sie meine Methode in Kombination mit den anderen angegebenen und vielen anderen brauchbaren Vergleichsmethoden, vielleicht sind wir endlich aus der Sackgasse einer einseitigen Blutdruckmessung wieder in die allgemeine, freie Bahn physiologisch bewährter, physikalisch richtiger und praktisch brauchbarer Gefäßforschung gelangt.

Anmerkung: Ein für die Praxis bestimmtes Instrument zur Bestimmung von Druck-, Strom- und Geschwindigkeitspuls innerhalb 5 Minuten wird von der Firma B. B. Cassel in Frankfurt a. M., Neue Zeil, in den Handel gebracht.

Resümee. Die Stromgeschwindigkeit des Blutes, eine der wichtigsten Kreislaufgrößen an gesunden und kranken Menschen zu bestimmen, dafür gab es bisher keine brauchbare Methode. Verfasser glaubt dieses Problem einfach gelöst zu haben. Am Arm oder Fuß wird durch eine Stauungsbinde der venöse Abfluß und durch eine unter Ueberdruck gesetzte Riva-Rocci-Manschette der arterielle Zufluß gehemmt und dadurch das Glied blaß, blut- und pulslos gemacht. Man beobachtet nun eine Fingerbeere und bestimmt mittels einer Stopuhr in $\frac{2}{10}$ Sekunden genau die Zeit, welche das Blut braucht, um bei plötzlich freigegebener Passage eine Rötung der Fingerbeere, eine wieder hergestellte Zirkulation zu erzeugen. Der Quotient aus Weg und Zeit gibt die mittlere Stromgeschwindigkeit des Blutes in dem betreffenden Gliede. Die auf diese Weise gefundenen Zahlen für die arterielle Stromgeschwindigkeit bewegen sich zwischen 200–400 mm pro Sekunde im Arm und stimmen mit den geläufigen, bei Tieren gefundenen Zahlen überein. Das einfachste Instrumentarium, Pulsometer genannt, wird von der Firma B. B. Cassel in Frankfurt a. M. in den Handel gebracht. In Verbindung mit einem gleichfalls von mir verbesserten Sphygmobolometer kann man mittels eines einfachen Instrumentariums folgende Kreislaufgrößen bestimmen: Blut- und Puls-

druck, Schlagvolumen, Arbeit der Pulsweite, Stromgeschwindigkeit, Querschnitt und Elastizität des Arterienrohres.