

Deutsche
Herzstiftung



Bluthochdruck

Herz und Gefäße schützen



Die Pulswelle analysieren: Für wen ist das sinnvoll?

Vom Herzen gehen Druckwellen aus, die unterschiedliche Formen des Bluthochdrucks unterscheiden und Herz-Kreislauf-Risiken besser abschätzen lassen.

Martin Middeke

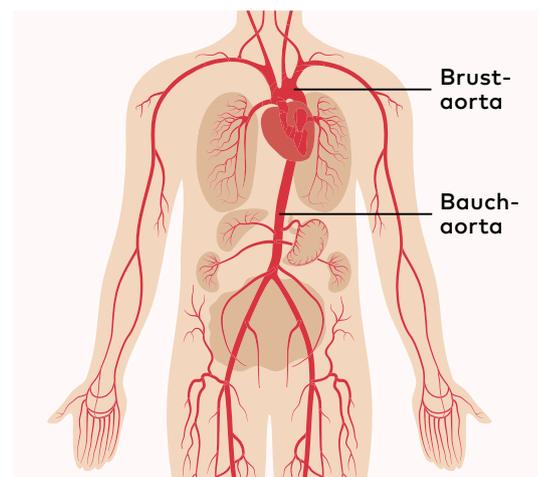


Wenn das Herz kraftvoll Blut in die Hauptschlagader pumpt, erzeugt es eine Druckwelle, die „Pulsquelle“. Sie ist vergleichbar mit Wasserwellen, die sich ausbreiten, wenn ein Stein ins Wasser fällt: Der Impuls führt zur Ausbreitung der Wellen, nicht aber des Wassers selbst. Ähnliches geschieht im Körper: In der Austreibungsphase des Blutes aus dem Herzen wird der Druckimpuls als Druckwelle über die Wand der Hauptschlagader und aller sich anschließenden Gefäße fortgeleitet. Das Blut selbst fließt – wie das Wasser – sehr viel langsamer als die sich rasch ausbreitende Druckwelle. Die Hauptschlagader (Aorta) funktioniert dabei als sehr elastisches Transportsystem: Sie nimmt den Druck aus dem Herzen auf, speichert ihn kurz, bremst die Druckwelle dadurch ab und leitet den Druck etwas verzögert, aber erhöht (amplifiziert) in die Arterien des gesamten Körpers. Verliert die Aorta mit zunehmendem Alter oder aufgrund von Verkalkungen (Arteriosklerose) ihre Elastizität, gleicht sie einer steifen, starren Röhre. Sie kann die Druckwelle dann nicht mehr abfedern und leitet sie ungedämpft fort; die steife Gefäßwand reflektiert die Druckwelle im weiteren Verlauf, und sie läuft zurück zum Herzen.

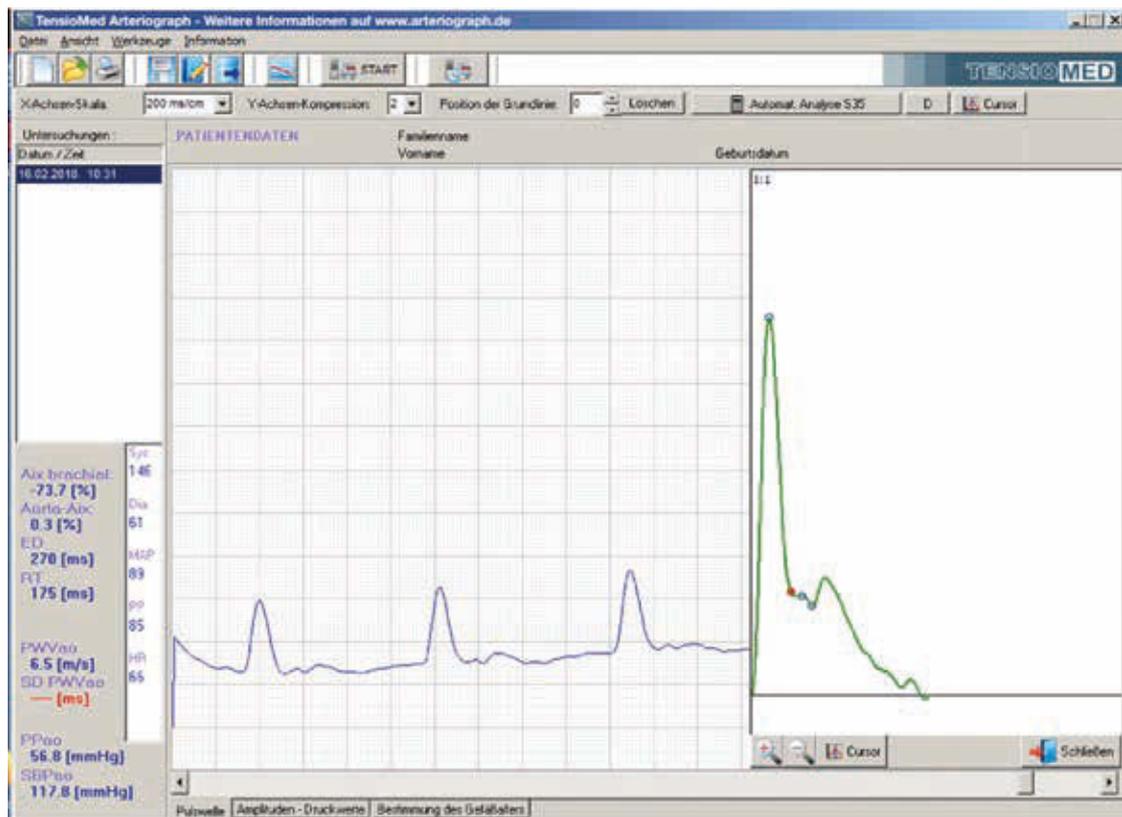
Mit der Pulswellenanalyse ist es möglich, die Druckwelle aufzuzeichnen und zu interpretieren. Die ermittelten Werte lassen auf die Druckverhältnisse im Bereich der Aorta (zentraler aortaler Blutdruck) und den Zustand der Gefäße rückschließen: Sind die Gefäße elastisch und imstande, die Druckwelle abzubremsen, ist die Pulswellengeschwindigkeit niedrig; sind die Gefäße aber durch Ablagerungen versteift und können die Druckwelle nicht mehr abbremsen, breitet sich die Pulswelle schneller aus. Ab einem Messwert von etwa elf Metern pro Sekunde ist von einer Gefäßsteifigkeit auszugehen. Der zentrale aortale Blutdruck gilt als wichtige Größe für die Therapie des Bluthochdrucks, zumal er mehr über das Herz-Kreislauf-Risiko aussagen kann als der „brachiale“ Blutdruck – der mit der üblichen Blutdruckmessung ermittelte Druck in der Oberarmarterie (Arteria brachialis).

WELCHE PATIENTEN PROFITIEREN?

Die sogenannte juvenile isolierte systolische Hypertonie (juvenile ISH) ist eine Bluthochdruckform, die insbesondere bei großen, schlanken und sportlichen Jugendlichen und jungen Männern vorkommt: Wird der Blutdruck mit der herkömmlichen Methode am Oberarm gemessen, erweist sich der diastolische (untere) Wert als normal oder niedrig und der systolische (obere) Wert als erhöht. Die systolische Blutdruckerhöhung beruht bei der juvenilen Form auf einer Amplifikation, einer starken und natürlichen Erhöhung der Druckwelle von der Aorta in der Brust bis zum Messpunkt in der Oberarmarterie. Mit der Pulswellenanalyse lassen sich Amplifikationswerte bis zu 60 mmHg messen (100 mmHg in der Aorta; 160 mmHg in der Armerie). Diese Amplifikation ist jedoch nicht krankhaft, sondern Ausdruck einer besonderen Elastizität der Gefäße und/oder eines erhöhten Herzschlagvolumens. Bei alledem ist der zentrale aortale Blutdruck niedrig oder normal. Dementsprechend gut ist die Prognose: Eine blutdrucksenkende Therapie ist bei juveniler ISH nicht erforderlich, obgleich mit der herkömmlichen Messung am Arm erhöhte Werte ermittelt worden sind. Je höher die Blutdruckamplitude ist – also die Differenz zwischen systolischem und diastolischem Wert –, desto elastischer reagieren die Gefäße und umso besser ist die Prognose. Die



Die Hauptschlagader (Aorta) ist ein sehr elastisches Transportsystem.



Originalableitung (Arteriograph, Careberri) der Pulswelle eines 20-jährigen Mannes mit „juvener isolierter systolischer Hypertonie“, einer Bluthochdruckform, die insbesondere bei großen, schlanken, sportlichen jungen Männern vorkommt.

»Mit der Pulswellenanalyse ist es möglich, die vom Herzen ausgehende Druckwelle aufzuzeichnen. Das lässt auf die Druckverhältnisse im Bereich der Körperschlagader und den Zustand der Gefäße rückschließen.«

Abbildung oben zeigt exemplarisch die Pulswelle eines jungen Mannes mit juveniler ISH.

Anders verhält es sich in fortgeschrittenen Lebensjahren: Mit rund 75 Prozent ist die isolierte systolische Hypertonie bei Menschen über 70 Jahren die häufigste Bluthochdruckform – und ist mit einem erhöhten Risiko verbunden, eine schwere Herz-Kreislauf-Erkrankung zu erleiden. Sie muss deshalb behandelt werden. Hier bedeutet eine große Blutdruckamplitude ein erhöhtes Risiko.

Im Unterschied zur juvenilen Form geht die isolierte systolische Hypertonie im Alter auf eine krankhafte Erhöhung des systolischen Blutdrucks zurück, zumeist aufgrund einer mangelnden Elastizität der Gefäße. Infolgedessen kommt es zu einer schnelleren Reflexion der Pulswelle. Charakteristisch ist eine große Blutdruckamplitude, wobei die reflektierte Druckwelle größer sein kann als die eigentliche Ausbreitungswelle. Das macht die Pulswellenanalyse als zweiten Gipfel sichtbar. Dieser „Doppelgipfel“ kann mit der konventionellen Blutdruckmessung am Oberarm nicht erfasst werden (siehe Abbildung auf Seite 47).

Sind die Gefäße aufgrund von Verkalkungen versteift, wird die Pulswelle verstärkt und beschleunigt reflektiert: Das Herz ist davon in der Austreibungsphase betroffen. Die reflektierte Druckwelle belastet die linke Herzkammer zusätzlich. Auf Dauer führt die stärkere Belastung dazu, dass die linke Herzkammer versteift und

sich infolgedessen nur noch eingeschränkt mit Blut füllen kann. Zugleich ist die Versorgung des gesamten Herzmuskels mit Sauerstoff und Nährstoffen beeinträchtigt, die überwiegend in der Füllungsphase stattfindet. Mit zunehmender Herzarbeit bei überhöhtem systolischem Druck steigt der Sauerstoffbedarf des Herzens an, zugleich ist die Versorgung in der Füllungsphase vermindert – beides kann die Entwicklung einer Herzschwäche (Herzinsuffizienz) herbeiführen oder beschleunigen.

MASKIERTER AORTALER DRUCK

Eine „maskierte aortale Hypertonie“ liegt vor, wenn bei der herkömmlichen Blutdruckmessung am Oberarm (brachialer Blutdruck) normale Werte gemessen werden, die Pulswellenanalyse aber einen erhöhten zentralen Blutdruck (aortaler Blutdruck) zeigt. Die aortale Hypertonie bleibt unerkant, geht aber mit einem erhöhten Herz-Kreislauf-Risiko und mit Organschäden einher.

Wie es zur maskierten aortalen Hypertonie kommt, lässt sich am Beispiel der „little old lady“ verdeutlichen: Körpergröße und Alter spielen eine Rolle, weil die reflektierte Druckwelle bei einer kurzen und im Alter steiferen Aorta schneller und stärker zum Herzen zurückläuft und zur krankhaften Erhöhung des systolischen Blutdrucks führt. Bei älteren Frauen mit Bluthochdruck ist die Steifigkeit der Aorta im Vergleich zu Männern häufig stärker ausgeprägt. Die starre Aorta kann die Pulswelle

»Der zentrale aortale Blutdruck kann mehr über das Herz-Kreislauf-Risiko aussagen als der brachiale Blutdruck, also der mit der üblichen Blutdruckmessung ermittelte Druck in der Oberarmarterie (Arteria brachialis).«

nicht mehr mit gleichem Druck bis zur Arteria brachialis weiterleiten – dem Ort der üblichen Blutdruckmessung am Oberarm. Es kann sogar zu einem Druckabfall von der Aortenklappe im Herzen bis hin zur Arterie im Oberarm kommen. Dann zeigt die herkömmliche Oberarmmessung niedrige oder normale Blutdruckwerte an, obwohl zentral ein erhöhter Druck besteht. Die Pulswellenanalyse kann also nicht nur die juvenile ISH erkennen und junge Menschen vor einer unnötigen blutdrucksenkenden Therapie und ihren Nebenwirkungen bewahren. Sie ist auch unabdingbar, um eine maskierte aortale Hypertonie zu erkennen und die dringend erforderliche blutdrucksenkende Behandlung einzuleiten.

DIFFERENZIERTE THERAPIE

Blutdrucksenker (Antihypertensiva) beeinflussen die Gefäßsteifigkeit und den aortalen Blutdruck in unterschiedlicher Weise. Der



Die „isolierte systolische Hypertonie“ ist die häufigste Bluthochdruckform im höheren Alter. Die Abbildung (Arteriograph, Careberri) zeigt die bei einem 72-jährigen Patienten gemessene Pulswelle mit einem auffälligen Doppelgipfel, der bei dieser Hypertonieform häufig ist.

EIN BLICK ZURÜCK

Tabelle 2.

Dauer der Reflexionserhebungen in den Versuchen vom 4. VIII. 03 und 30. VII. 04. (S. Schema Fig. 26.)

Puls	0-1	1-2	2-3
4. VIII. 03			
VI. 2.	0,134	0,151	
IX. 2.	0,182	0,193	
X. 1.	0,183	0,197	0,205
30. VII. 04			
33	0,119	0,184	

Mir scheint es zweifellos zu sein, dass diese Erhebung durch eine Reflexion, welche die von der Aorta ausgegangene Druckwelle an ziemlich bestimmten Punkten des Kreislaufes erfährt,



Im Jahr 1904 beschrieb der Münchner Arzt Otto Frank erstmals die Puls- welle und deren Reflexion in der Hauptschlagader (Aorta).

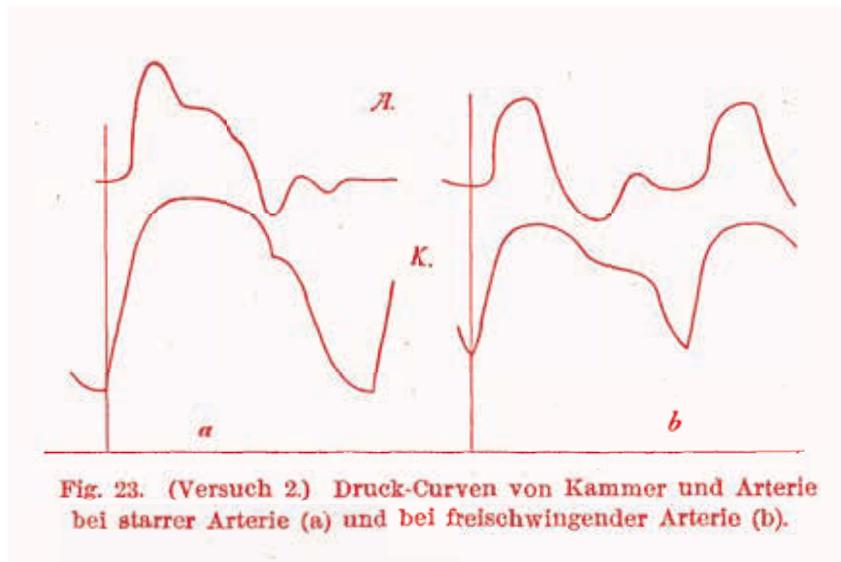


Fig. 23. (Versuch 2.) Druck-Curven von Kammer und Arterie bei starrer Arterie (a) und bei freischwingender Arterie (b).

Die Druckkurven von linker Herzkammer (K) und Aorta (A) veröffentlichte Otto Frank im Jahr 1920 in der Zeitschrift für Biologie unter der Überschrift „Die Elastizität der Blutgefäße“.

Die Grundlagen der modernen Pulswellenanalyse gehen auf den Münchner Arzt und Physiologen Otto Frank (1865 bis 1944) zurück. Er erforschte, wie sich die periodisch oszillierende Druckwelle vom Herzen über die Arterien bis hin zu den Organen ausbreitet. Im Jahr 1904 beschrieb er in seinem Aufsatz „Der Puls in den Arterien“ erstmals die Pulswelle und deren Reflexion in der Aorta und stellte einen mathematischen Bezug der Geschwindigkeit, mit der sich die Pulswellen ausbreiten, zur Gefäßsteifigkeit her.

Im Jahr 1863 ermittelte der französische Physiologe Étienne-Jules Marey (1830 bis 1904) die Pulswelle mit einem „Sphygmographen“. Marey konnte damit zwischen jungen und alten Gefäßen unterscheiden. Otto Frank hat damit im Jahr 1920 die Druckkurven steifer und elastischer Gefäße abgeleitet.

Mit der Entwicklung der indirekten Blutdruckmessung mithilfe einer Manschette am Oberarm geriet die Pulswellenanalyse im letzten Jahrhundert in den Hintergrund. Die Konzentration auf nur zwei extreme Werte – den systolischen und den diastolischen Druck – ist eigentlich ein Rückschritt: Otto Frank und Étienne-Jules Marey hatten noch die gesamte Blutdruckkurve im Blick und konnten daraus wichtige Erkenntnisse ableiten. Die von Otto Frank bereits im Jahr 1904 beschriebene Puls- wellen- geschwin- digkeit empfehlen die Leitlinien der Europäischen Gesellschaften für Kardiologie und Hypertonie erstmals im Jahr 2007 – als neuen Biomarker zur Bestimmung der arteriellen Gefäßsteifigkeit.

Auswahl der Substanzen kommt deshalb eine zunehmende Bedeutung zu: Nicht jede medikamentöse Blutdrucksenkung ist auch mit einer Abnahme der Pulswellenreflexion und einer Senkung des zentralen aortalen Blutdrucks verbunden.

Die „CAFE“-Studie konnte im Jahr 2006 erstmals zeigen, dass sich der zentrale aortale Blutdruck besser mit der Kombination der Medikamente Amlodipin (ein Kalziumantagonist) und Perindopril (ein ACE-Hemmer) senken lässt als mit der Kombination von Atenolol (ein Betablocker) und Hydrochlorthiazid (ein Diuretikum). Die Kombination aus Kalziumantagonist und ACE-Hemmer zeigte im gesamten Studienverlauf eine bessere Senkung des Aortendrucks und war darüber hinaus mit einer besseren Prognose und einer Senkung der Schlaganfallrate verbunden. Auch die Kombination mit Amlodipin kann die ungünstige Wirkung von Atenolol auf den Aortendruck nicht kompensieren. Dies zeigt auch ein weiterer Vergleich mit der Kombination Amlodipin und Valsartan.

Die „alten“ Betablocker vom Typ Atenolol oder Metoprolol senken zwar den brachialen Blutdruck – nicht aber den zentralen aortalen Druck. Sie haben zudem ungünstige Stoffwechseleigenschaften und ungünstige Effekte auf das Gefäßsystem. Das ist eine Erklärung dafür, warum die „alten“ Betablocker im Vergleich zu anderen Blutdrucksenkern die Morbidität und Mortalität in der Primärprävention nur mangelhaft senken können: Die nationalen und internationalen Leitlinien empfehlen sie daher nicht mehr als Antihypertensiva der ersten Wahl. In Deutschland indes werden diese Betablocker nach wie vor bevorzugt eingesetzt. Hier wäre ein Umdenken im Ordnungsverhalten wünschenswert, um die Erfolge der blutdrucksenkenden Therapie weiter zu steigern.

Den stärksten Effekt auf den aortalen Blutdruck haben Nitrate und Kalziumantagonisten, gefolgt von ACE-Hemmern und Angiotensin-Rezeptor-Blockern (Sartane). Diese Substanzen sind imstande, die reflektierte Druckwelle zu dämpfen und auch den zentralen aortalen Blutdruck zu senken. Gleiches gilt für Nebivolol, den Betablocker der jüngsten Generation und

»Blutdrucksenkende Medikamente beeinflussen die Gefäßsteifigkeit und den zentralen aortalen Blutdruck in unterschiedlicher Weise. Der richtigen Auswahl der Substanzen kommt deshalb eine zunehmende Bedeutung zu.«

einigen Betablocker mit Stickoxid-Freisetzung. Stickoxid (NO) erweitert die Gefäße, daraufhin kann das Blut mit weniger Druck durch die Arterien fließen. Es gibt inzwischen einige Studien, welche die Wirkung von Nebivolol mit anderen Betablockern vergleichen: Sie zeigen alle die positiven Effekte von Nebivolol auf den Blutfluss in den Gefäßen.

Eine blutdrucksenkende Therapie, die auch auf den zentralen aortalen Blutdruck als Zielgröße ausgerichtet ist, scheint sehr vielversprechend – und sie scheint dem herkömmlichen Vorgehen, das allein den brachialen Zielblutdruck berücksichtigt, überlegen zu sein. Dies gilt besonders im Hinblick auf die sogenannte Mikrozirkulation, beispielsweise die Durchblutung der Netzhaut oder der Nieren.

Die Pulswellenanalyse wird zurzeit noch nicht von den gesetzlichen Krankenkassen übernommen und muss deshalb als individuelle Gesundheitsleistung privat abgerechnet werden.



Prof. Dr. med. Martin Middeke
Hypertoniezentrum München
Excellence Center of the European Society of Hypertension (ESH)
Kontakt: info@hypertoniezentrum.de
Infos zur Pulswellenanalyse:
www.pulswellenanalyse.de

Literatur:

Middeke, M. (2013): Augmentation des aortalen Blutdrucks – Ursachen, kardiale Folgen und Konsequenzen für die antihypertensive Therapie. In: Aktuelle Kardiologie. doi.org/10.1055/s-0032-1328485

Middeke, M. et al. (2019): Little Old Ladies' Eye. In: Artery Research. doi.org/10.2991/artres.k.191105.001

Middeke M. (2017): Zentraler aortaler Blutdruck: Bedeutender Parameter für Diagnostik und Therapie. In: Deutsche Medizinische Wochenschrift. doi.org/10.1055/s-0043-113212

Williams B. et al. (2006): Differential impact of blood pressure-lowering drugs on central aortic pressure and clinical outcomes: principal results of the Conduit Artery Function Evaluation (CAFE) study. In: Circulation. doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.105.595496