

6

Blutdruckregulation und Blutdruckregulationsstörungen

HR 96



120/70



Hinter der Regulation des Blutdrucks stehen komplexe, ineinander verschachtelte Regelkreise des Hormon- und des Nervensystems.

Die Frage nach dem Blutdruck ist eine Standardfrage auf jedem Gesundheitsfragebogen. Oft wird aber bei bestehenden Beschwerden nicht näher darauf eingegangen. Deshalb soll dieser Artikel das Verständnis der Blutdruckregulation und der pathologischen Veränderungen des Blutdrucks verbessern. Allgemeine Kenntnisse über den anatomischen Aufbau des Herzkreislaufsystems setzte ich in diesem Text voraus.



André Tummer

Die Blutströmung

Das Blut fliesst nicht allein durch die Pumpkraft des Herzens. Gerade in den peripheren Gefässen strömt das Blut, weil es Druckunterschiede im Kreislauf gibt. Aus zentralen, herznahen Regionen mit hohem Druck fliesst das Blut in periphere Gefässabschnitte mit niedrigerem Druck, z.B. in die Arm- und Beinarterien. Die

Fließgeschwindigkeit hängt dabei vom **Blutdruck** und vom **Strömungswiderstand** der Gefässe ab. Steigt der Blutdruck, so erhöht sich die Strömungsgeschwindigkeit. In den grossen Arterien beträgt die durchschnittliche Fließgeschwindigkeit 20 cm/Sek., in den Venen 12 cm/Sek. und in den Kapillaren nur 0,05 cm/Sek. Der **Strömungswiderstand** wird bestimmt durch den Durchmesser eines Blutgefässes, durch die Viskosität («Zähigkeit» einer Flüssigkeit) des Blutes und durch die Länge des Gefässabschnitts.

Der Durchmesser der Gefässe und die Blutviskosität sind veränderbar. Verkleinert sich der Durchmesser, so steigt der Strömungswiderstand an. Dies erfolgt durch ein Zusammenziehen der Gefässmuskulatur. Die Verengung von Gefässen bezeichnet man als **Vasokonstriktion**. Sie spielt eine zentrale Rolle bei der Regulation des Blutdrucks. Im Ruhezustand sind über 80% der Arteriolen kontrahiert, wobei die einzelnen Arteriolen sich in einem rhythmischen Wechsel öffnen und zusammenziehen, um eine gleichmässige und bedarfsangepasste Durchblutung zu gewährleisten. Besteht in einem Organ vermehrter Sauerstoffbedarf, z. B.

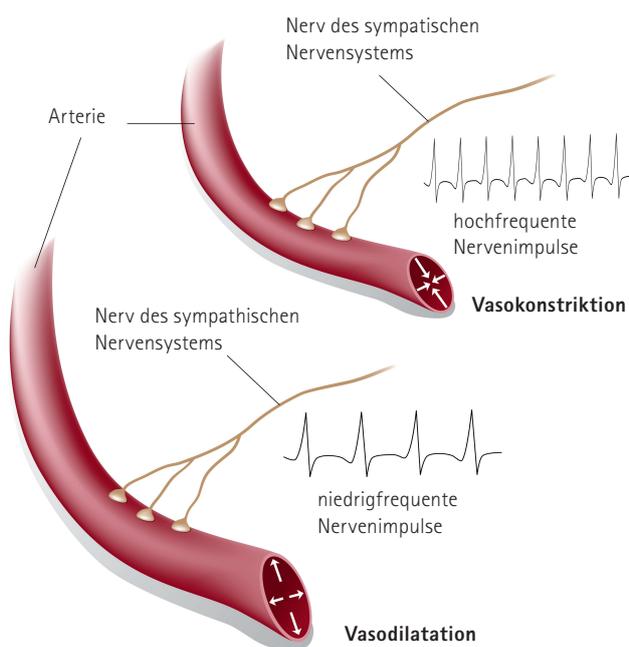
in der Skelettmuskulatur bei körperlichem Training, erweitern sich die vorgeschalteten Arteriolen. Die Gefässerweiterung bezeichnet man als **Vasodilatation**. Der Strömungswiderstand nimmt ab und die lokale Durchblutung nimmt stark zu. Dafür werden andere Organe, die in diesem Moment nicht viel Sauerstoff benötigen, weniger durchblutet, indem die dort vorgeschalteten Arteriolen kontrahieren und der Strömungswiderstand an dieser Stelle zunimmt. Zur Vasokonstriktion und -dilatation sind also nur die Gefässe fähig, die über Gefässmuskulatur verfügen. Im feinen Kapillarnetz, wo der Stoff- und Gasaustausch stattfindet, ist diese Gefässbewegung nicht mehr vorhanden. Schliesslich beeinflusst noch der Zustand der Gefässe den Blutdruck. Durch Arteriosklerose verengte oder durch Aneurysmen erweiterte Gefässe verändern den peripheren Widerstand (Summe der Widerstände in den einzelnen Gefässabschnitten) genauso wie Vasokonstriktion und Vasodilatation.

Die **Blutviskosität** hängt vor allem von dem Verhältnis zwischen festen und flüssigen Bestandteilen des Blutes ab. Bei Dehydration überwiegen die festen Blutbestandteile, die Viskosität nimmt zu und der Strömungswiderstand erhöht sich. Gehen hingegen feste Bestandteile verloren, z. B. durch Blutverlust, strömt zum Ausgleich mehr Flüssigkeit in die Gefässe; die Viskosität nimmt dadurch ab. Im Blutbild wird die Viskosität durch den Hämatokriten beschrieben. Dieser bezeichnet den prozentualen Anteil der zellulären Elemente zum Gesamtblut. Je nach Quelle werden unterschiedliche Normwerte erwähnt. Ein Wert von über 50% ist aber sicherlich kritisch und bedarf der genaueren Abklärung. ▶

Der Blutdruck

Der Blutdruck ist die Kraft, die das Blut auf die Gefäßwände ausübt. Obwohl diese Kraft auch in den Venen wirkt, ist mit dem Begriff Blutdruck stets der Druck in den grösseren Arterien gemeint. Die Höhe des Blutdrucks hängt entscheidend von der Leistungsfähigkeit des Herzens ab, die durch das Herz-Zeit-Volumen (HZV) ausgedrückt wird. Dies ist die Menge Blut, die das Herz pro Zeiteinheit in den Kreislauf pumpt. Sinkt das HZV, so sinkt in der Regel auch der Blutdruck. In Ruhe beträgt das HZV rund 5l/Min., kann aber bei Belastung bis auf das Sechsfache gesteigert werden und dann bis zu 30l/Min., in Einzelfällen auch mehr, betragen.

Der durchschnittliche Blutdruck in der Aorta beträgt 100 mmHg. Während der Systole steigt der Druck in Ruhe bis auf 120 mmHg an. Dies ist der **systolische Blutdruckwert**. Der **diastolische Wert** von rund 80 mmHg entsteht, wenn das Herz in der Diastole erschlafft und der Druck in der Aorta dadurch abfällt.



Die Gefässeng- bzw. weitstellung wird durch die Frequenz der Nervenimpulse ausgelöst.

Der Druck variiert nicht nur mit der Herzaktion, sondern er schwankt wie schon erwähnt durch unterschiedliche Strömungswiderstände, aber auch durch unterschiedliche **hydrostatische Druckverhältnisse** in den einzelnen Gefäßabschnitten. So findet man in den Beinarterien, auf denen der höchste hydrostatische Druck liegt, im Stehen systolische Blutdruckwerte von über 200 mmHg. Ein kurzer Überblick über den Blutdruck in verschiedenen Gefäßabschnitten ist in der folgenden Tabelle abzulesen.

	systolisch	diastolisch
Arterien	100–145 mmHg	60–80 mmHg
Arteriolen	70 mmHg	60–80 mmHg
Kapillaren	20 mmHg	2 mmHg
Herznahe Venen	4 mmHg	2 mmHg
Lungenkreislauf	20 mmHg	10 mmHg

Tab. 1: Die Druckverhältnisse variieren in den verschiedenen Gefäßabschnitten sehr stark.

Blutdruckanpassung beim Lagewechsel

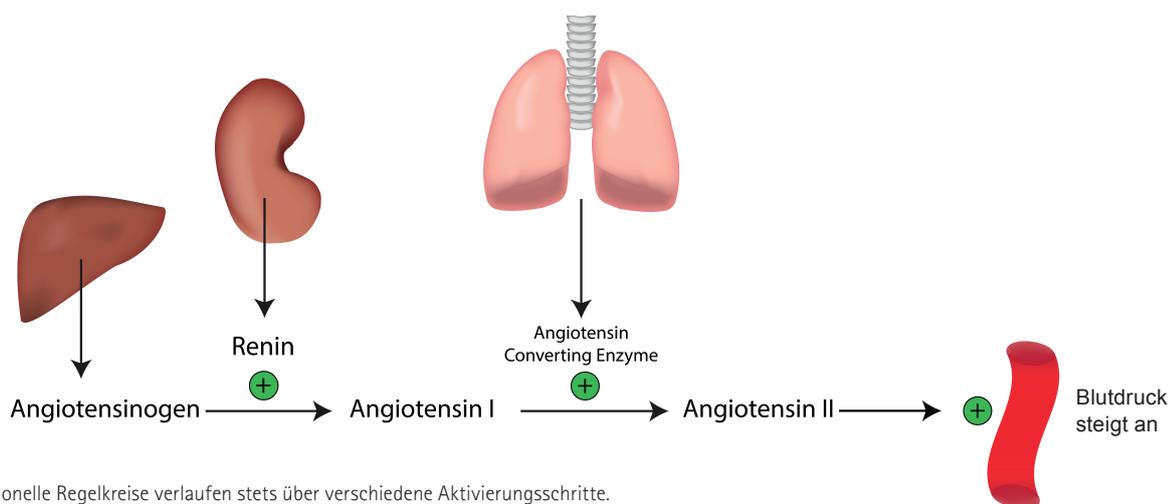
Beim Übergang vom Liegen zum Stehen versackt ein Teil des Blutes im venösen System, wodurch weniger Blut zum Herzen zurückfließt. Dadurch sinken das Herzschlag- und das Herz-Zeit-Volumen. Um dennoch einen ausreichenden Blutdruck zu gewährleisten, erhält das verlängerte Rückenmark (Medulla oblongata) Meldung über einen zu niedrigen Blutdruck. Reflexartig verengen sich die Gefäße und das Herz beginnt schneller zu schlagen. Dieser Vorgang wird über das vegetative Nervensystem vermittelt.

Die Regulation des Blutdrucks

Der Blutdruck muss also den wechselnden körperlichen Belastungen angepasst werden.

Ausserdem darf der Blutdruck bestimmte Werte nicht über- oder unterschreiten. Zu hohe Werte können das Herz, die Nieren, das Gehirn und andere Organe schädigen. Zu niedrige Werte führen dazu, dass weniger Nährstoffe und weniger Sauerstoff zu den Organen gelangt.

Im Aortenbogen, in den Halsschlagadern sowie in anderen grossen Arterien im Brustkorb messen druckempfindliche Sinneszellen, sogenannte **Pressorezeptoren**, die Dehnung der Arterienwand. Dehnt ein höherer Blutdruck die Wand, so senden die Pressorezeptoren verstärkte Impulse an das verlängerte Rückenmark. Diese Impulse hemmen das **vasomotorische Zentrum** im Ge-



Hormonelle Regelkreise verlaufen stets über verschiedene Aktivierungsschritte.

hirn und senken so die Aktivität des Sympathikus. Als Folge erschlaffen die Gefäße, das Schlagvolumen und die Schlagfrequenz des Herzens sinken. Der Blutdruck fällt ab.

Bei zu niedrigen Blutdruckwerten verlaufen die erwähnten Vorgänge umgekehrt: Das vasomotorische Zentrum verstärkt seine sympathischen Impulse, sodass sich die Gefäße zusammenziehen und sich die Schlagfrequenz und das Schlagvolumen des Herzens erhöhen. Der Blutdruck steigt an.

Regelung der Blutverteilung

Wie erwähnt wird die Blutverteilung durch die Regulation des peripheren Gesamtwiderstands und des Blutdrucks gesteuert. Wären alle Arteriolen gleichzeitig geöffnet, wären mehr als 20 Liter Blut erforderlich, um einen ausreichenden Blutdruck aufrechtzuerhalten. Da aber nur etwa 5 Liter Blut zur Verfügung stehen, muss das Blut bedarfsgerecht verteilt werden. Dafür ist eine zentrale Koordination notwendig, die durch Bereiche der Medulla oblongata und des Hypothalamus erfolgt.

Wenn die Muskeln z. B. durch körperliches Training einen erhöhten Durchblutungsbedarf haben, stellen sich durch **Autoregulation** mehr Arteriolen des betreffenden Organs weit. Organe mit ausgeprägter Autoregulation sind die Nieren und das Gehirn. Durch diese Selbstregulation der Gefäße wird zwar die lokale Durchblutung verbessert, gleichzeitig könnte jedoch der totale periphere Widerstand und damit der Blutdruck gefährlich absinken, würden nicht sofort durch die oben genannte zentrale Koordination mehrere Gegenmassnahmen wirksam werden:

1. Eine plötzliche Mehrdurchblutung der Muskulatur ist eine physiologische Stressreaktion des Körpers. Das heisst, die Nebennieren schütten Adrenalin und Noradrenalin aus. Zum einen bringen diese Hormone das Herz dazu, schneller zu schlagen, zum anderen wirken sie direkt auf die Gefäße. Arterien im Bereich des Bauchs und der Haut kontrahieren, Schlagadern im Herz und in der Skelettmuskulatur hingegen erweitern sich. Der Blutdruck steigt. Dadurch wird das Blutvolumen dahin verteilt, wo es gebraucht wird.
2. Ein Teil des Blutvolumens wird vom Lungenkreislauf und der linken Herzhälfte in den arteriellen Körperkreislauf verschoben. Dadurch beginnt das Herz sofort schneller und kräftiger zu schlagen.

Das **Renin-Angiotensin-Aldosteron-System (RAAS)** reguliert den Flüssigkeits- und Elektrolythaushalt des Körpers und wirkt somit in entscheidender Weise auf den Blutdruck ein. Die Komponenten des RAAS stehen dabei in enger Wechselwirkung zueinander.

Renin ist ein hauptsächlich in der Niere produziertes Enzym. Es wird ausgeschüttet, wenn der Blutdruck in den Gefässen der Niere unter 70 mmHg abfällt. Renin spaltet aus dem **Angiotensinogen** das **Angiotensin I** ab. Angiotensin I wird durch das in den Endothelzellen der Lunge gebildete **Angiotensin converting enzyme** in **Angiotensin II** überführt. Erst Angiotensin II ist physiologisch wirksam. ▶

Es löst eine Vasokonstriktion der Blutgefässe aus und veranlasst zugleich eine vermehrte Ausschüttung von **Aldosteron** in der Nebennierenrinde. Aldosteron bewirkt hauptsächlich, dass Wasser und Natrium in der Niere zurückgehalten werden.

Angiotensin II bewirkt ausserdem im Hypophysenhinterlappen die Freisetzung des **antidiuretischen Hormons**, das ebenfalls eine Wasserrückhaltung auslöst. Durch die Wirkung des Angiotensin II wird also der Blutdruck sowohl über eine Steigerung des Plasmavolumens als auch durch die Verengung der Blutgefässe erhöht.

Normalwerte

Beim gesunden Menschen liegt der Blutdruck etwa bei 120/80 mmHg. Bei älteren Menschen können etwas höhere systolische Werte auftreten. Diese sind durch den Elastizitätsverlust der grossen Gefässe bedingt. Trotzdem sollte der Blutdruck systolisch 140 mmHg und diastolisch 90 mmHg nicht überschreiten. Bei der Beurteilung des Blutdrucks ist zu beachten, dass der Blutdruck physiologisch durch zahlreiche Faktoren, z. B. tageszeitliche Schwankungen, vorangegangene körperliche Anstrengung oder psychische Erregung beeinflusst wird. Deshalb sind für die Beurteilung des Blutdrucks wiederholte Messungen nötig.

Blutdruckregulationsstörungen

Die **Hypertonie** ist eine **dauerhafte, nicht situationsabhängige** Blutdruckerhöhung über 140/90 mmHg. Sie ist eine der häufigsten Erkrankungen überhaupt. Die Hauptproblematik liegt in den Spätkomplikationen: Etwa 25% aller Todesfälle sind Folgen einer Hypertonie.

Aufgrund der Ursachen werden primäre Hypertonie und sekundäre Hypertonie voneinander unterschieden. Bei der **primären Hypertonie**, welche über 90% der Fälle ausmacht, ist die Ursache der Regulationsstörung unbekannt. Vermutlich führen äussere Einflüsse bei entsprechend veranlagten Menschen zur Hypertonie. Eine besondere Rolle kommt hierbei der Lebensführung zu, bei der der Wechsel von Erholungs- und Leistungsphasen fehlt und bei der vielfach eine Dauerspannung im Vordergrund steht. Übergewicht und Fehlernährung spielen ebenfalls eine Rolle.

Bei den **sekundären Hypertonieformen** ist der Bluthochdruck Folge anderer Grunderkrankungen. Die wichtigsten Ursachen sind:

- Erkrankungen des Nierengewebes
- Erkrankungen der Nierengefässe
- Einnahme bestimmter Medikamente
- Hormonstörungen, z. B. Überfunktion der Nebennierenrinde, Schilddrüsenüberfunktion

Da die Hypertonie oft beschwerdefrei ist, wird sie meistens nur zufällig entdeckt. Den Schweregrad der Hypertonie zeigt die folgende Tabelle nach Richtlinien der WHO.

Kategorie	systolisch (mmHg)	diastolisch (mmHg)
optimal	< 120	< 80
normal	< 120	< 85
«hoch normal»	130–139	85–89
leichte Hypertonie (Schweregrad 1)	140–159	90–99
mittelschwere Hypertonie (Schweregrad 2)	160–179	100–109
schwere Hypertonie (Schweregrad 3)	> 180	> 110
isolierte systolische Hypertonie	> 140	< 90

Tab. 2: Normwerte der Hypertonie gemäss der WHO-Richtlinien

Spätkomplikationen

Je länger eine Hypertonie besteht und je höher der Blutdruck ist, desto grösser ist die Gefahr von Komplikationen. Folgeschäden entstehen besonders an folgenden Organen:

- **Gefässe:** Der Bluthochdruck beschleunigt die Entwicklung einer Arteriosklerose in allen arteriellen Gefässen.
- **Herz:** Da die linke Herzkammer ständig gegen den erhöhten Widerstand im Körperkreislauf anpumpen muss, entwickelt sich im Laufe der Zeit eine Linksherzhypertrophie. Dadurch besteht die Gefahr, dass der Herzmuskel nur noch unzureichend durchblutet wird. Zusätzlich besteht häufig eine koronare Herzkrankheit (KHK) durch eine Arteriosklerose der Herzkranzgefässe. Die Folgen sind Angina pectoris, Herzinfarkt und Linksherzinsuffizienz.

- **Gehirn:** Die häufigste Komplikation der Hypertonie ist der Schlaganfall, der durch eine arteriosklerotisch bedingte Minderdurchblutung des Gehirns oder auch durch eine Hirnblutung entsteht.
- **Augen:** Die hypertoniebedingten Netzhautschäden reichen über Netzhautblutungen bis hin zur völligen Erblindung.
- **Nieren:** Bei langjähriger Hypertonie bildet sich durch die Gefäßveränderungen eine arteriosklerotische Schrumpfniere mit Niereninsuffizienz bis hin zum Nierenversagen.

Sie sehen also, dass die Folgeerkrankungen massiv sein können. Einmal mehr ein Grund, präventiv durch das richtige Training frühzeitig dafür zu sorgen, dass es gar nicht so weit kommt. Doch dazu später mehr.

Eine **Hypotonie**, also ein tiefer Blutdruck, liegt vor, wenn dauernde niedrige Blutdruckwerte von $< 100/60$ mmHg bei Frauen bzw. $< 110/60$ mmHg bei Männern vorliegen. Eine Hypotonie ist dann behandlungsbedürftig, wenn gleichzeitig Beschwerden durch Minderdurchblutung der peripheren Organe bestehen. Durch die kurzzeitige Minderdurchblutung des Gehirns wird der betroffenen Person schwindlig und schwarz vor den Augen. Sie könnte stürzen oder in Ohnmacht fallen.

Bei der **primären Hypotonie** gibt es keine erkennbaren Ursachen. Sie tritt häufig bei jüngeren Frauen auf. Die **sekundäre Hypotonie** ist eine Begleiterscheinung von schweren Grunderkrankungen wie einer Herzinsuffizienz, einer Aortenstenose, einer Nebennierenrindeninsuffizienz, einer Hypovolämie (Blutverlust aus dem Kreislaufsystem), aber auch von Medikamenten Nebenwirkungen.

Die **orthostatische Dyregulation** bezeichnet den plötzlichen Blutdruckabfall beim Lagewechsel vom Liegen zum Stehen. Sie ist oft mit einer Hypotonie verknüpft. Vor allem ältere Menschen leiden oft darunter, als Folge von Nebenwirkungen bestimmter Medikamente und als Folge nachlassender Reaktionsfähigkeit der Gefäße aufgrund von Arteriosklerose.

So viel also zu den Mechanismen der Blutdruckregulation und deren Störungen. Was nun im Training zu beachten ist, wird im Artikel auf der folgenden Seite erläutert. ◀

Umsetzung in die Praxis: Der Einfluss des Ausdauertrainings auf den Blutdruck bzw. Bluthochdruck



Ausdauertraining wirkt regulierend auf den Bluthochdruck – doch die Tücken liegen im Detail. Ein Indoor-Cardiotraining bietet Bluthochdruckpatienten eine kontrollierte und sichere Trainingsumgebung.

Ausdauertraining mit entsprechender Dauer und Intensität führt auf allen Altersstufen – insbesondere bei erhöhten Ausgangswerten – zu einer Senkung der Blutdruckwerte, und zwar sowohl in Ruhe als auch bei Belastung. Dies dürfte nichts Neues sein.

Von André Tummer

Besonders die leichten und mässig schweren primären Hypertonien (Schweregrad 1 und 2) lassen sich gut durch körperliches Training mit Ausdauercharakter beeinflussen. Nach grossen Metaanalysen können bei Menschen mit leichter Hypertonie durch regelmässiges Ausdauertraining sowohl der systolische als auch der diastolische Blutdruck in ähnlichem Ausmass wie bei medikamentöser Therapie gesenkt werden – ca. um 5–10 mmHg.

Das trifft für den Ruheblutdruck sowie für den Belastungsblutdruck zu. Aber: Schnelle Erfolge gibt es dabei nicht.

Ketelhut et al. liessen Bluthochdruckpatienten in ihrer Arbeit «Zur Wirkung eines 18-monatigen regelmässigen Ausdauertrainings auf das Blutdruckverhalten bei Hochdruckkranken in Ruhe und bei Belastung» jeweils 3–5mal pro Woche ein 30-minütiges Ausdauertraining absolvieren. Nach 6 Monaten konnte

noch keine signifikante Beeinflussung festgestellt werden (126/92 auf 125/91), wohingegen nach 18 Monaten eine signifikante Verbesserung (126/92 auf 121/86) nachweisbar war.

Tipp Nr. 1:

Machen Sie Ihren Kundinnen und Kunden klar, dass nur regelmässiges und langfristiges Training zum Erfolg führt.

Warum tritt eine Verbesserung der Blutdruckwerte ein?

Das Training senkt den Sympathikotonus. Gleichzeitig steigt der Parasympathikotonus in Ruhe. Das Herz wird gebremst, die Pulsfrequenz verlangsamt. Die arteriellen Blutgefässe erweitern sich, weil die Katecholaminausschüttung (Adrenalin/Noradrenalin) vermindert wird, sodass sich der Blutdruck senkt. Dies bedeutet zum einen eine weitere Entlastung des Herzens (Verringerung der unökonomischen Druckerarbeit), zum anderen die Beseitigung eines beachtlichen Risikofaktors für degenerative Gefässerkrankungen. Zudem sinkt der Blutdruck um 1,5 bis 2 mmHg systolisch und um 1,2 bis 1,5 mmHg diastolisch pro abtrainiertes Kilogramm Körpergewicht. Die Werte der Stoffwechsellparameter Blutzucker, Insulinspiegel, Cholesterin, LDL-Cholesterin, HDL-Cholesterin und Triglyzeride verbessern sich. Ausdauertraining ist jedoch nicht in allen Fällen zur Behebung einer Hypertonie geeignet.

Absolute Kontraindikationen sind:

- **Manifestierte Hypertonie mit Schweregrad 3 ohne medikamentöse Behandlung**
- **sekundäre Hypertonien**
- **kardiale Komplikationen (weitere Herz- und Gefässerkrankungen)**
- **Belastungshypertonie**
- **Niereninsuffizienz**

Im Normalfall sind Menschen, die an diesen Erkrankungen leiden, nicht unbedingt unsere Kunden. Sie gehören unter allen Umständen in die Hand eines Kardiologen. Trotzdem sehe ich es als notwendig an, bei der Gesundheitsbefragung auch nach den **Ursachen** einer Hypertonie zu fragen. Oftmals wird dieser Punkt rasch übergangen. Die Antwort des Kunden, «dagegen nehme

ich ja Medikamente», wird dann als ausreichend empfunden. Experten für Bewegungs- und Gesundheitsförderung können aber mehr. Sie sollten vor allem durch ihr Fachwissen Sicherheit vermitteln – denn die Angst vor Komplikationen durch körperliche Belastung ist bei Herzkreislaufproblematiken die grösste Herausforderung.

Fragen Sie bei Hypertonikern ausserdem nach, ob vor dem Beginn eines regelmässigen Trainings ein Belastungs-EKG gemacht worden sei. Der Kardiologe kann damit u. a. belastungsbedingte Herzrhythmusstörungen ausschliessen.

Tipp Nr. 2:

Richten Sie eine Blutdruckmessstation auf der Trainingsfläche ein, an der Ihre Kundinnen und Kunden selbst regelmässig ihren Blutdruck messen und gegebenenfalls auch dokumentieren können.

Tipp Nr. 3:

Halten Sie Fachvorträge zum Thema Herz und Sport, am besten gemeinsam mit einem kooperierenden Kardiologen.

Nach den neuen Empfehlungen des American College of Sports Medicine aus dem vergangenen Jahr sollten Hypertoniker wenn möglich täglich 30 Minuten aerob-dynamisches Ausdauertraining machen. Die Intensität des Trainings ist ein wesentlicher Faktor für die langfristige günstige Beeinflussung des Blutdrucks. Die Trainingsintensität sollte im submaximalen Bereich liegen mit 60 bis 70% der maximalen Herzfrequenz.

Tipp Nr. 4:

Seien Sie in der Planung des Ausdauertrainings variabel und nutzen Sie alle vorhandenen Cardiogeräte. 3 x 10 Min. auf 3 verschiedenen Ausdauergeräten ist weniger monoton als das Training an einem einzigen Gerät und trainiert zudem unterschiedliche Bewegungsmuster. ▶

Früher wurden generell Ausdauersportarten mit geringem bis mittlerem Kraftaufwand empfohlen, denn bei diesen überwiegend dynamischen Sportarten treten keine exzessiven Blutdruckspitzen auf. In neuen Empfehlungen, etwa den Empfehlungen des American College of Sports Medicine, wird das dynamische Training auch durch ein Krafttraining ergänzt. Inzwischen belegen immer mehr Untersuchungen positive Effekte. So wurde bei Patienten in Krafttrainingsprogrammen der systolische Blutdruck um bis zu 10 mmHg und der diastolische um bis zu 5 mmHg gesenkt.

Blutdruckspitzen vermeiden

Bei intensivem Krafttraining, insbesondere bei isometrischer Halbtarbeit, kommt es teils zu extremen Blutdruckanstiegen. Bei Gewichthebern sind Blutdruckspitzen von > 400 mmHg gemessen worden. Und diese sind wirklich gefährlich. Denn die Hypertonie ist ein Risikofaktor für den plötzlichen Herztod beim Sport. Hypertoniker sind in allen Studien über den plötzlichen Herztod beim Sport überrepräsentiert: Bei jeder dritten plötzlich gestorbenen Person lag ein Bluthochdruck vor.

HETTINGER (1983) konnte bei zwölf Männern im Alter von 20–29 Jahren keine Abhängigkeit der Blutdruckreaktion von der Höhe der Muskelanspannung, wohl aber von der Anspannungsdauer nachweisen. Da die Anspannungsdauer bei einem Krafttraining mit geringer Intensität länger ist als bei höheren Lasten, können somit auch hohe Blutdruckwerte bei «leichtem» Krafttraining erklärt werden. BAUM et al. (2003) konnten herausstellen, dass bei einem Krafttraining mit hoher Intensität (70–80% 1 RM¹) und periodischen Pausen zwischen den Wiederholungen der Blutdruckanstieg geringer ausfiel als bei kontinuierlichen Kontraktionen mit 50% 1 RM.

Dies könnte bedeuten, dass die Intensität (Widerstand, Gewicht) eine untergeordnete Rolle in Bezug auf den Blutdruckanstieg spielt und die kurzen, entspannenden Pausen zwischen den Wiederholungen durch den verbesserten Blutdurchstrom der Muskulatur eine entscheidende Bedeutung für die Blutdruckreaktion haben könnten. Da die Blutdruckwerte in der genannten Studie allerdings indirekt und nicht intraarteriell (invasiv über einen Messfühler direkt in einer Arterie) gemessen wurden, gelten diese Ergebnisse nicht als gesichert.

Übermäßiger Blutdruckanstieg während des Trainings kann vermieden werden, wenn bei der Kraftanstrengung Pressatmung vermieden wird. Gerade bei älteren Menschen sollten die

Gewichte so gewählt werden, dass die Kundinnen und Kunden 10–15 Wiederholungen bewältigen können. Periodisch eingesetzte, muskelentspannende Pausen zwischen den Wiederholungen verhindern einen Blutdruckanstieg durch Dauerspannung der Muskulatur.

Tipp Nr. 5:

Achten Sie beim Coaching von Kundinnen und Kunden mit Bluthochdruck auf eine gleichmässige und «entspannte» Atmung während der Kraftübungen und vermeiden Sie zu lange Dauerspannungen der Muskulatur.

Tipp Nr. 6:

Seien Sie in Ihrer langfristigen Planung der Kraftübungen abwechslungsreich und variabel, aber vermeiden Sie Trainingsmethoden im Maximalkraftbereich.

Neben den rein trainingswissenschaftlichen Aspekten spielen die psychologische und die emotionale Komponente eine grosse Rolle. Angst und Unsicherheit bei Herz-Kreislauf-Beschwerden sind deutlich höher als bei orthopädischen Erkrankungen. Hier sind wir als Dienstleister gefragt. Lesen sie hierzu ab Seite 28, wie Sandra Flury dies in ihrem Center «Dy-Fit» in Münchenstein mit ihrem «Herz Bistro» perfekt gelöst hat. ◀

Literatur

- Hollmann, W. (2009), *Sportmedizin*. 5. Auflage, Schattauer Verlag, Stuttgart
- Ketelhut et al. (2014), *Zur Wirkung eines 18-monatigen regelmäßigen Ausdauertrainings auf das Blutdruckverhalten bei Hochdruckkranken in Ruhe und bei Belastung*. *Der Internist* 55, Springer Verlag, Berlin
- Preedel, H.G. (2007), *Bluthochdruck und Sport*. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, Jg. 58, Nr.9
- Rau, G. (1978), *Blutdruckregulationsstörungen – Diagnostik und Therapie*. Sandorama Verlag, Nürnberg
- Rieckert H. (1979), *Hypotonie. Physiologie, Pathophysiologie und Therapie der orthostatischen Dysregulation*. Springer Verlag, Berlin
- Schäffler A. (Hrsg., 2014), *Gesundheit heute*. Trias Verlag, Stuttgart
- Weineck, J. (2004), *Sportbiologie*. 9. Auflage, Spitta Verlag & Co. KG, Balingen

¹ 1 RM = Repetition Maximum (das Gewicht, das 1-mal mit korrekter Ausführung bewegt werden kann)

22 *Qualität im Trainingsprozess – am Anfang steht der Test Exemplarische Darstellung am Beispiel «Seitlicher Unterarmstütz»*



Der Unterarmstütz in verschiedenen Varianten ist eine beliebte Testübung. Doch was sagt sie eigentlich genau aus?

Die Validität (Zuverlässigkeit) eines Tests ist für seine Aussagekraft entscheidend. Bildet ein Test wirklich die zu messende Grösse ab, oder werden Ergebnisse eher hinein interpretiert? Einfach durchführbare Tests sind für die Fitnessbranche sinnvoll, doch wie exakt können diese sein? Am Beispiel «Seitstütz» soll diese Thematik vertiefend beleuchtet werden.



Urs Geiger, PTScFH, CAS CADM, CAS Sportphysiotherapie, Berufsschullehrer HWS Huber Widemann Schule, Basel, langjähriger Berufsbildner, Praktikumslehrperson DZ, ETH Zürich, Buchautor

Teil 1

Unter einem trainingsbezogenen *Assessment* versteht man einen Prozess, an dessen Ende eine rationale Entscheidung steht. Mit der systematischen Erfassung von «Eigenschaften» wird eine messbare Ebene erreicht. Das damit verbundene Erheben von Daten (nachfolgend «Testing») ist das zentrale und gleichzeitig unerlässliche Instrument zur Optimierung von *Prozess- und Ergebnisqualität*.

Bezogen auf die Zielstellung des Trainings heisst das:

1. **Gewinnen von Informationen** (Ist-Zustand ermitteln ↔ Testing)
2. **Analysieren** (Testauswertung)
3. **Entscheiden** (Trainingsplanung)
4. **Handeln** (Trainingssteuerung)
5. **Evaluieren** (Vergleich mit Soll-Zustand ↔ Re-Testing)

Diagnostik der Kraftfähigkeit

«Es ist unbestritten, dass sowohl im rehabilitativen wie auch im gesundheitsorientierten oder im Leistungssportlichen Bereich zwecks vergleichender Einschätzung die Frage nach individuellen und speziellen Kraftwerten von grossem Interesse ist. Die Zahl an vorgeschlagenen Testübungen ist entsprechend umfangreich. Je grösser die Auswahl, desto grösser die Wahrscheinlichkeit, dass keine Krafttestübung alle Aspekte innerhalb einer komplexeren Fragestellung abdecken kann. Ein Grund dafür ist die Tatsache, dass die Muskelkraft *nicht direkt* gemessen werden kann.

Quantifiziert wird bei Kraftmessungen das durch die Muskelkontraktion erzeugte Drehmoment, ein passendes Messgerät vorausgesetzt. Die «gemessene» Muskelkraft ist die Auswirkung der generierten Muskelzugkräfte, die über entsprechende Muskelmomenthebel in Gelenkmomente transformiert werden.

Aus den Gelenkmomenten ergeben sich über die Anordnung der äusseren Hebel schliesslich die Kräfte, die wir registrieren. Ein weiteres Faktum ist die Tatsache, dass Kraftleistungen stark von der Anthropometrie¹ des Probanden geprägt sind (biologische Variabilität oder random error²). Dies betrifft sowohl die äusseren Hebel (Segmentlänge) als auch die inneren Muskelmomenthebel (Gelenkgeometrie) (*K. Hottenrott*). Im Allgemeinen wird aufgrund des gezeigten motorischen Outputs und anhand der Belastungsdauer (*time under tension*) bzw. der Anzahl der Wiederholungen die Kraft eingeschätzt.

Testverfahren zur Rumpfkraftdiagnostik

Die Bedeutung einer gut ausgebildeten Rumpfmuskulatur ist sowohl aus präventiver als auch aus Leistungssportlicher Sicht unbestritten. Apparative Messverfahren (z. B. Isokinetik-Geräte) liefern im Allgemeinen reliable³ Messdaten. Für einen verbreiteten Einsatz in der Trainingspraxis sind sie aber bekanntlich zu aufwendig und zu teuer. Als nichtapparative Testformen werden daher u.a. die bekannten Rumpfkrafttests *ventrale Rumpfkette* (Unterarmstütz), *laterale Rumpfkette* (Seitstütz) und *dorsale Rumpfkette* genutzt.

Trotz grosser Anwenderfreundlichkeit sind gerade diese einfachen dynamischen Testformen hinsichtlich ihrer *Validität*⁴ kritisch zu beurteilen. Der Nachweis wurde bisher nicht erbracht, dass die erzeugten Daten die zu messende Grösse (*ausreichende Rumpfkraft*) auch wirklich abbilden. Aufgrund der gemessenen Belastungsdauer (in Sekunden) wird gemäss Testziel quantitativ auf die «Kraft» der entsprechenden Muskelkette geschlossen. Bei genauer Betrachtung wird aber nicht die (Muskel-)Kraft – welche korrekterweise in Newton (N) bzw. als Drehmoment (Nm) angegeben werden müsste – sondern die Belastungsdauer bis zum Abbruch der Testübung gemessen. Gemäss Definition kann daher *Validität* und damit die Gültigkeit der Tests nicht vorausgesetzt werden!

Als primäres Ziel eines Grundkrafttests gilt die Frage, ob eine untrainierte oder trainierte Person einer Mindestkrafthanforderung genügt. Offen bleibt die Frage, wie viel besser oder schlechter ein Resultat als der Referenzwert sein muss, damit ►

¹ Wissenschaft von den menschlichen Körper- und Skelettmerkmalen und deren exakter Bestimmung

² zufällige Messabweichung

³ zuverlässige

⁴ Eine Messung ist valide, wenn sie tatsächlich das misst, was sie messen soll und somit glaubwürdige Ergebnisse liefert.

man die Leistung mit hoher Wahrscheinlichkeit richtig als «über» oder «unter dem Referenzwert liegend» bezeichnen kann (M. Tschopp).

Das Beispiel «Seitlicher Unterarmstütz» (Abb.1) zeigt beispielhaft den Aktivitätszustand der *Brückenaktivität*⁵. Die sich daraus ergebenden Kräfte sind als Pfeile (= Kraftvektoren) dargestellt und können mit folgender Formel quantifiziert werden:

$$H = \frac{q \times l^2}{8 \times f}$$

Formel: Der Quotient (H) gibt die Spreizkraft in Newton (N) an, welche während der Übung zur Erhaltung des Brückenbogens von der lateralen Muskelkette in isometrisch und isotonischer gemischter Form in Gegenrichtung kompensiert werden muss.

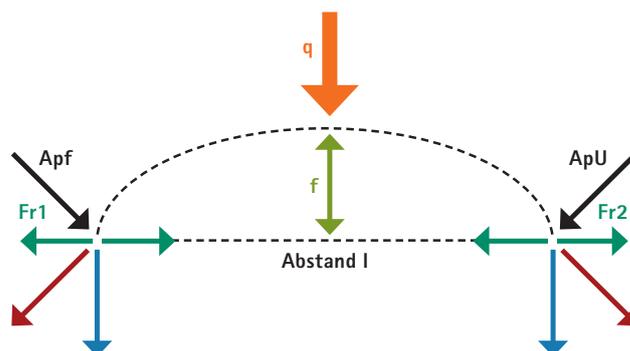
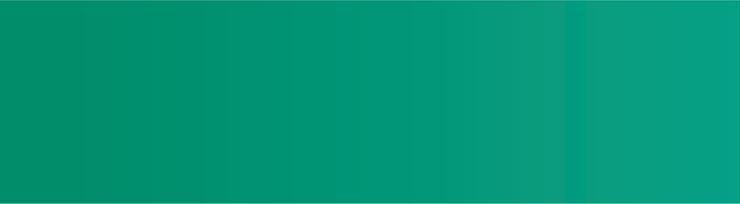


Abb.1: Belastungswirksame Kräfte beim Grundkrafttest «laterale Rumpfmuskelkette» im seitlichen Unterarmstütz (Endstellung):
schwarze Pfeile = Auflagepunkte Fuß (ApF) und Unterarm (ApU);
gestrichelte Verbindungslinie = Abstand der Auflagepunkte (Abstand l);
orangefarbener Pfeil = gravitationsbedingte Gewichtskraft (q);
hellgrüner Doppelpfeil = Höhe des Brückenbogens (f);
grüne Pfeile nach aussen (Fr1) und (Fr2) = bewegungsbezogene Rutschtendenz – beide Vektoren addiert ergeben die Spreizkraft (H);
grüne Pfeile nach innen = muskulär benötigte Kraftvektoren, welche die Spreizkraft (H) kompensieren («wahrer Kraftwert»)



Was wird gemessen: Rumpfkraft oder Belastungsdauer?



Mit der Berechnung von (H) erhält man einen grössen- und gewichtsrelativierten Wert. Es gilt zu beachten, dass infolge des sich bei dynamischer Ausführung verändernden Faktors (f) die Spreizkraft (H) ebenfalls alternierend proportional zu- und abnimmt (cave: strukturelle Belastbarkeitsgrenze).

Unter Berücksichtigung der Belastungsdauer könnte für die Übung «Seitlicher Unterarmstütz» auch das Gütekriterium «Validität» weitgehend als erfüllt angesehen werden; dazu wird das Produkt aus Spreizkraft (H) und Belastungsdauer (s) berechnet (vgl. Formel).

Berechnungsbeispiel 1:

Versuchsperson 72 kg; $q = 72 \text{ kg } (72 \times 9.81 \text{ m/s}^2)$; $l = 1.4 \text{ m}$;
 $f = 0.2 \rightarrow H = 865 \text{ N}$ (d. h., dass während der gesamten Belastungsdauer eine mehr oder weniger konstante Haltekraft von 122% des Körpergewichtes aufgebracht werden muss)

Berechnungsbeispiel 2:

Mittelwert (Belastungsdauer) der geforderten «Grundkraft» = 50 s^5 ($\pm 1 \text{ SD} = 68 \text{ s}$ bzw. 32 s); ± 1 Sekunde entspricht einer Abweichung vom MW um 1.9%

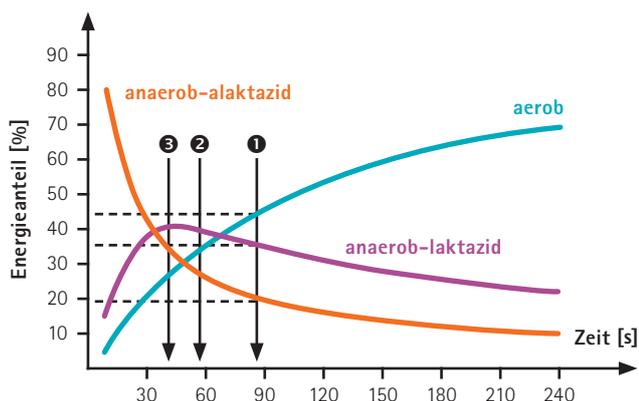
Versuchsperson 1 mit 39 s (TUT) liegt 20.9% ($11 \text{ s} \times 1.9$) unter dem Mittelwert.

Versuchsperson 2 mit 57 s (TUT) liegt 13.3% ($7 \text{ s} \times 1.9$) über dem Mittelwert.

Die nachfolgende Grafik verdeutlicht den Einfluss der gemessenen Belastungsdauer auf die prozentualen Energieanteile in Bezug auf die erbrachte Leistung. Weil diese drei Energieanteile innerhalb des statistisch signifikanten *Range* zwischen ± 34 bis 73 Sekunden stark variieren, scheint eine Zuordnung zur postulierten «Grundkraft» problematisch. Auswertung und Interpretation über die Belastungszeit (Sekunden) sind zudem nur bedingt valide. Die Gültigkeit muss zudem in Frage gestellt werden, weil die hergeleitete Variable «Grundkraft» keine physiologisch eingrenzbar Kraftart darstellt. Obwohl *confounding factors*⁶ ►

⁵ Hypothetischer Normwert für normal trainierte Personen bis 30.

⁶ «Störfaktoren», welche sowohl die abhängige Variable als auch die unabhängige Variable beeinflussen können.



Zeitliche Dynamik der verschiedenen Energiebereitstellungsprozesse im zeitlichen Verlauf der Belastungsdauer. In Anlehnung an die Qualitätssicherung Swiss Olympic für Medical Centers für laterale Rumpfkette (Referenzwerte n. Tschopp für Sportler/innen «laterale Rumpfkette»):

③: 44 s (< 44 s = ungenügend);

②: 57 s (44–57 s = knapp genügend), mehr als 57 s (57–89 s = genügend);

①: 89/77 s (= Mittelwert MW Mindestkraftanforderung).

Beim Mittelwert von 89 s ergeben sich folgende prozentuale Energieanteile: anaerob alkalazid 20%, anaerob laktazid 36%, aerob (glykolytisch) 44%; bei höheren bzw. tieferen Werten verändern sich diese markant, was keinen validen Vergleich betreffend der gesuchten «Mindestkraftanforderung» erlaubt.

wie individuelle Zusammensetzung der Muskelfasern, Alter, allgemeiner und spezifischer Trainingszustand, enzymatische Ausstattung, Laktatakkumulation bzw. -elimination und individuelle Beweglichkeit (v. a. der Wirbelsäule in Lateralflexion) die Formulierung valider Richtwerte nicht ausschliessen, haben sie dennoch einen nicht unerheblichen Einfluss auf das Testresultat.

Die Beurteilung der Messgenauigkeit beruht demnach nicht ausschliesslich auf der Höhe der statistischen Kriterien. Vielmehr müssen die Kenngrössen in einen Zusammenhang mit einer bestimmten praktischen Fragestellung (analytic goal) gestellt werden. Die Mindestkraftanforderung wird aber – in Ermangelung eines in prospektiver⁷ Art ermittelten Zusammenhangs von Testresultaten und sportlichen Erfolgen oder Beschwerden – meist mehr oder weniger willkürlich festgelegt (hier: Mittelwert minus 1 = Standardabweichung der Resultate des Referenzkollektivs).

Konklusion für die Trainingspraxis

- 1 Mit den drei genannten Rumpfkrafttests ist die Zuverlässigkeit der Messung – Objektivität vorausgesetzt – ausreichend garantiert.
- 2 Trotz kritischer Beurteilung der Testübung(en) betreffend Hauptgütekriterium *Validität*, sind diese – eine ausreichend genaue Standardisierung vorausgesetzt – durchaus nützlich in der Beurteilung sensomotorischer und energetischer Aspekte im Zusammenhang mit dynamischer Stabilität in einer der entsprechenden Körperebenen.
- 3 Der genannte Begriff «Grundkraft» wurde bis dato nicht nach wissenschaftlichen Kriterien definiert; ausreichende *Grundkraft* wird angenommen, wenn ein Messwert (x) dem Mittelwert (MW) ± 1 Standardabweichung (SD) dem kollektivbezogenen Normwert entspricht.
- 4 Eine zusätzliche Ausbildung der Rumpfmuskulatur über die erforderliche Grundkraft hinaus geht nicht mit einer proportional linearen Steigerung des präventiven Nutzens oder sportlichen Leistung einher. (M. Tschopp)
- 5 Die drei Testübungen können den erfahrenen Bewegungsfachleuten, unabhängig vom reinen Testresultat, eine qualitative Einschätzung allfälliger gelenkassoziierter Muskeldefizite ermöglichen (Schwachstelle innerhalb der arthrokinesematischen Muskelkette).
- 6 Das zusätzliche Erkennen von potenziellen Schwachstellen soll innerhalb des trainingsbezogenen Assessments zu einer speziellen Berücksichtigung spezifischer Kräftigungsübungen führen.
- 7 Von den drei Testübungen dürfte der *seitliche Unterarmstütz* aufgrund seiner multiplen Anforderung an posturale⁸ Basiskompetenzen aus funktioneller Sicht am aussagekräftigsten sein. ◀

⁷ möglicherweise zu erwarten, voraussichtlich

⁸ haltungsbedingte