

# Intraoperative Hypotonie: Pathophysiologie und klinische Relevanz

Malte Book, Florian Jelschen, Andreas Weyland



► **Abb. 1** Der arterielle Mitteldruck ist ein zentraler Surrogatparameter zur Sicherung der Organperfusion. Quelle: KH Krauskopf.

Eine adäquate Organperfusion zu sichern, gehört zu den zentralen Aufgaben des Anästhesisten während einer Operation. Intraoperative Hypotonien können diese jedoch gefährden. Der Artikel diskutiert die Relevanz intraoperativer Hypotonie als Risikofaktor für eine inadäquate Organperfusion und Sauerstoffversorgung.

## Definition und Inzidenz der intraoperativen Hypotonie

### Grenzwerte des arteriellen Blutdrucks

In der perioperativen Medizin findet sich keine allgemein akzeptierte Definition der intraoperativen Hypotonie [1]. Dementsprechend existieren keine Leitlinien, die untere Grenzwerte für den systolischen Blutdruck (SAP), den mittleren Blutdruck (MAP) oder für Zeitlimits beim Unterschreiten dieser Grenzen empfehlen. Bijker et al. identifizierten in 130 Publikationen 140 verschiedene, z. T. erheblich differierende Definitionen der intraoperativen Hypotonie [2]. Die in diesem Kontext am häufigsten verwendeten Definitionen benennen einen Abfall des SAP < 80 mmHg, einen relativen Abfall des SAP um > 20% des präoperativen Ausgangswerts. Andere Definitionen beziehen sich auf den MAP oder auf eine Kombination ver-

schiedener Werte. Diese Inkongruenz der Definitionen erschwert somit erheblich die Abschätzung der Inzidenz.

### Hypertone Patienten

In diesem Zusammenhang ist auch die hohe Prävalenz der arteriellen Hypertonie zu berücksichtigen: In Deutschland liegt diese in der Altersgruppe von 25–64 Jahre mit regionalen und geschlechtsspezifischen Unterschieden zwischen 23–57% [3]. Daher sollte das individuelle Blutdruckniveau möglichst zur Definition der intraoperativen Hypotonie und auch zur Steuerung des Blutdrucks berücksichtigt werden. Im günstigsten Fall liegt eine 24-h-Blutdruckmessung der Patienten vor und der Tagesmittelwert gibt Auskunft über das individuelle Blutdruckniveau. Alternativ ist der während der Prämedikationsvisite oder hilfsweise der unmittelbar vor Anästhesieeinleitung gemessene Wert zu verwenden.

## Merke

Im Falle hypertoner Blutdruckwerte sollte ein relativer Abfall des individuellen MAP um 20–30% zur Definition der intraoperativen Hypotonie herangezogen werden.

Allerdings bringt auch eine ausführlichere präoperative Blutdruckdiagnostik keinen Erkenntnisgewinn hinsichtlich der individuellen Autoregulationsgrenzen.

Besondere Beachtung müssen hypertone Patienten finden, die erst kürzlich medikamentös auf normotone Werte eingestellt wurden. Gerade zu Beginn einer Therapie weisen Müdigkeit, Abgeschlagenheit und Schwindel auf eine ggf. zu ausgeprägte bzw. zu schnelle Blutdrucksenkung hin. Die Anpassung organspezifischer Autoregulationsgrenzen in Richtung normotensiver Werte kann im Einzelfall bis zu mehreren Monaten andauern. In dieser Anpassungsphase müssen sich intraoperative Grenzwerte der Hypotonie eher an den früheren hypertonen Blutdruckwerten des Patienten orientieren.

## Inzidenz der intraoperativen Hypotonie

Aus den von Bijker identifizierten 130 Publikationen resultierte in Abhängigkeit von der Definition in einem eigenen Patientenkollektiv eine Hypotonie-Inzidenz zwischen 5 und 99% [2]. Dabei gingen 15 000 nicht herzchirurgische Patienten in die retrospektive Analyse ein.

Eine einheitliche Definition (Abfall des SAP > 30% über 10 min) benutzen Taffe et al. bei ihrer retrospektiven Auswertung von > 140 000 Patienten einer Schweizer Anästhesiedatenbank. Bei den beteiligten Kliniken zeigten sich unterschiedliche Inzidenzen der intraoperativen Hypotonie zwischen 0,6 und 5,2%, die auch nach Adjustierung für Unterschiede in den Patientenkollektiven und den Anästhesieverfahren bestehen blieben [4]. Das größte Risiko einer intraoperativen Hypotonie zeigten Patienten

mit thorax-, gefäß- oder allgemeinchirurgischen Eingriffen (8,6–12%) [4]. Eine aktuelle retrospektive Analyse der intraoperativen Hämodynamik von > 16 000 Patienten detektierte einen mind. 5-minütigen SAP-Abfall auf < 80 mmHg bei mehr als einem Viertel der Patienten [5].

Diese Daten zeigen eindrucksvoll, dass es sich bei der intraoperativen Hypotonie um eine sehr häufige Problematik handelt.

## Merke

Eine intraoperative Hypotonie ist eine häufige Komplikation von Allgemein- und Regionalanästhesien, deren Inzidenz maßgeblich von der gewählten Definition sowie von konstitutiven und interventionellen Faktoren abhängt.

## Relevanz für Morbidität und Mortalität

### „Triple low“-Status

Im Jahr 2012 untersuchte Sessler die Krankenhausverweildauer und die Mortalität von Patienten mit einem sog. „triple-low“-Status (MAP < 75 mmHg, niedrige Inhalationsanästhetika-Konzentration < 0,8MAC, Bispektral Index (BIS) < 45). Die prospektive Untersuchung von > 24 000 Patienten zeigte eine Assoziation des „triple-low“-Status mit einem verlängerten Krankenhausaufenthalt und der 30-Tage-Mortalität [6]. Darüber hinaus wurde eine Abhängigkeit der Endpunkte von der Dauer des „triple-low“-Zustands identifiziert. Die intraoperative Hypotonie als isolierter Faktor war nicht mit der Mortalität assoziiert.

Kertai et al. konnten 2014 die Ergebnisse von Sessler bei > 16 000 nicht herzchirurgischen Patienten allerdings nicht reproduzieren. 2015 bestätigten dagegen Willingham und sein Team in einer retrospektiven Analyse dreier Studien einen „triple-low“-Status > 15 min als einen unabhängigen Prädiktor für eine erhöhte 30-Tage- und 90-Tage-Mortalität [7, 8].

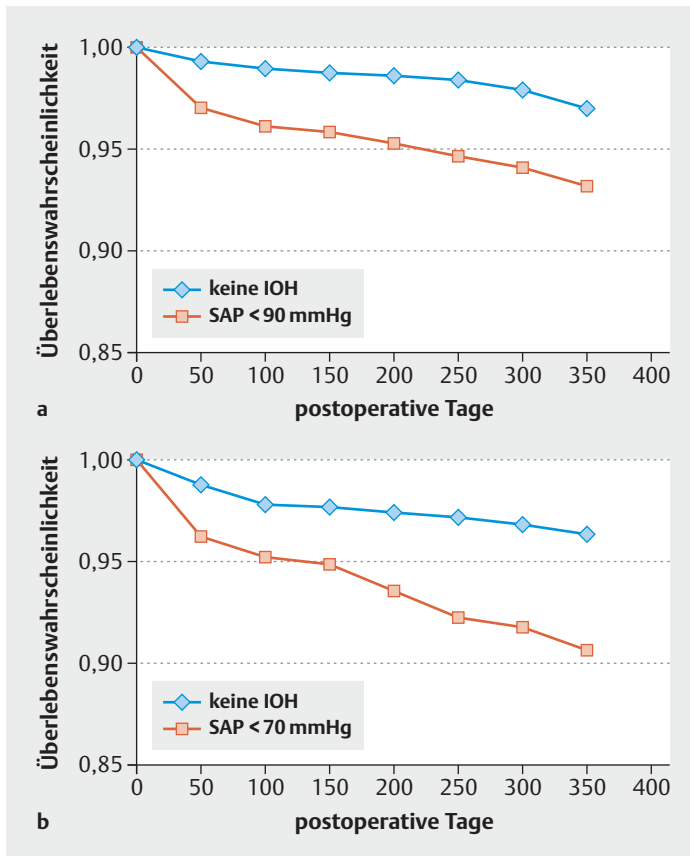
Eine direkte Kausalität kann allerdings aus keiner dieser Studien gefolgert werden. Bislang fehlt eine entsprechende Interventionsstudie und es kann trotz statistischer Adjustierungen nicht ausgeschlossen werden, dass es sich bei den genannten Faktoren um Epiphänomene handelt.

### Dauer der intraoperativen Hypotonie und Outcome

Walsh et al. zeigten an 33 000 nicht herzchirurgischen Patienten, dass die Dauer einer intraoperativen Hypotonie (MAP < 55 mmHg) als unabhängiger Faktor mit dem Auftreten von akuten Nierenschädigungen, perioperativen Myokardischämien und erhöhter Mortalität verbunden ist [9]. In einer früheren Arbeit konnten Monk et al. einen

## GLOSSAR

BIS	Bispektral Index
CART	classification and regression tree
CBF	zerebraler Blutfluss
CCP	critical closing pressure
CPP	zerebraler Perfusionsdruck
DO <sub>2</sub>	Sauerstoffangebot
EDP	effective downstream pressure
HZV	Herzeitvolumen
ICP	intrakranieller Druck
MAP	mittlerer arterieller Druck
pAVK	periphere arterielle Verschlusskrankheit
PP	Perfusionsdruck
SAP	systolischer arterieller Druck
SVR	systemischer vaskulärer Widerstand



► **Abb. 2** Trend der Überlebenswahrscheinlichkeiten im 1. postoperativen Jahr von Patienten mit einer intraoperativen Hypotonie (IOH) von (a) systolisch (SAP) < 90 mmHg und (b) < 70 mmHg für mind. 1 min, ohne Konfidenzintervalle. Abb. nach [11].

Abfall des SAP unter < 80 mmHg als unabhängigen Prädiktor für eine erhöhte 1-Jahres-Mortalität aufzeigen [10]. Hierbei erhöhte sich das Risiko für jede Minute der Hypotonie um den Faktor 1,036, sodass nach nur 5 min Hypotonie das Mortalitätsrisiko ca. um den Faktor 1,2 anstieg.

Bijker et al. konnten bei 1700 prospektiv untersuchten Patienten mit gefäß- und allgemein chirurgischen Eingriffen im Gesamtkollektiv jedoch keine Assoziation zwischen intraoperativer Hypotonie und erhöhter 1-Jahres-Mortalität aufzeigen (► **Abb. 2**) [11]. Die Datenanalyse mit einer alternativen Regressionsanalyse (classification and regression tree, CART) identifizierte jedoch bei Patienten > 46 Jahre in der Tat ein erhöhtes Mortalitätsrisiko, das abhängig von der Ausprägung und der Dauer der intraoperativen Hypotonie war. Die Autoren folgerten aus den Ergebnissen der CART-Analyse, dass der untere Grenzwert des Blutdrucks von der kumulativen Dauer der Hypotonie abhängt und niedrigere Blutdruckwerte nur für kürzere Zeit toleriert werden.

### Merke

Ausprägung und Dauer der intraoperativen Hypotonie sind unabhängige Faktoren für das Auftreten von akuten Nieren- und Myokardschädenschäden und mit der postoperativen Mortalität assoziiert.

## Kreislaufphysiologie

### Gesetz nach Darcy: Druck ≠ Fluss

Ein direkter Rückschluss von gemessenen MAP-Werten auf das Herzzeitvolumen (HZV) und somit auf das Sauerstoffangebot (oxygen delivery,  $DO_2$ ) ist unmöglich. Neben den Parametern Druck und Fluss ist der Widerstand im beobachteten System von entscheidender Bedeutung. Analog zum Ohm'schen Gesetz lässt sich das Gesetz nach Darcy für strömende Flüssigkeiten anwenden:

#### FORMEL

$$PP = R \times Q$$

Der Perfusionsdruck (PP) gleicht dem Produkt aus Widerstand (R) und Fluss (Q). Somit ist der Fluss proportional zum Perfusionsdruck und umgekehrt proportional zum Widerstand. Übertragen auf Parameter des großen Kreislaufs lässt sich folgende Gleichung aufstellen:

#### FORMEL

$$MAP - ZVD = SVR \times HZV / 80$$

### Merke

Ein normaler MAP-Wert erlaubt ohne Kenntnis des systemischen Widerstands (SVR) keinen Rückschluss auf das HZV.

Der Divisor 80 resultiert aus der Angleichung verschiedener Dimensionen. Vereinfacht formuliert ist der MAP direkt proportional zum HZV und zum SVR.

### „Downstream pressure“ und kritischer Verschlussdruck

Der Perfusionsdruck in einem Stromgebiet wird bestimmt aus der Differenz zwischen

- dem stromaufwärts herrschenden Druck (bestimmt durch den MAP) und
- dem stromabwärts gerichteten Druck (für den i. d. R. der ZVD als venöser Abflussdruck benutzt wird).

Daten aus klinischen Untersuchungen bei Patienten mit induzierten Kreislaufstillständen und tierexperimentelle Daten zeigen jedoch, dass die Zirkulation bei einem systemischen Druck zum Erliegen kommt, der oft deutlich

über dem ZVD liegt (effective downstream pressure, EDP) [12].

Dieser Druck wird auch als kritischer Verschlussdruck (critical closing pressure, CCP) bezeichnet. Er wird maßgeblich vom Gefäßtonus und dem Gewebedruck bestimmt und stellt in vielen Situationen den EDP dar. Vor allem bei intraabdomineller Drucksteigerung im Rahmen eines Kompartmentsyndroms oder bei hohem intrakraniellen Druck (ICP) ist zu beachten, dass aufgrund des erhöhten EDP der effektive Perfusionsdruck für die Durchblutung der abhängigen Organsysteme deutlich vermindert sein kann.

## Autoregulation

Ein ausreichender arterio-venöser Druckgradient ist zwingende Voraussetzung für einen adäquaten Blutfluss. Dieser ist entscheidend für die Sauerstoff- und Nährstoffversorgung der einzelnen Organe. Insbesondere die Nieren und das Gehirn verfügen über einen Autoregulationsmechanismus, der mithilfe myogener Tonusregulation ohne Mitwirkung der Gefäßnerven in einem bestimmten Druckbereich die Durchblutung trotz veränderter arterio-venöser Druckdifferenz konstant hält (sog. Bayliss-Effekt). Außerhalb dieser Bereiche verhält sich die Perfusion druckpassiv.

### Merke

**Bei Patienten mit arteriellem Hypertonus sind die Grenzen der Autoregulation nach oben verschoben und es können somit höhere Drücke für eine adäquate Organperfusion nötig sein.**

► **Abb. 3** zeigt exemplarisch die unteren Autoregulationsgrenzen vom gesunden Herz, vom hypertrophierten Herz und von der Niere.

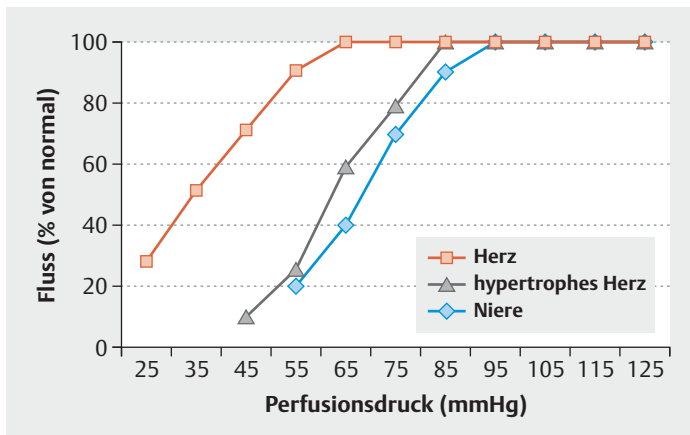
## Gehirn

Der zerebrale Blutfluss (CBF) wird in einem MAP-Bereich von 60–160 mmHg konstant gehalten. Außerhalb dieser Grenzwerte fällt bzw. steigt er linear mit dem zerebralen Perfusionsdruck (CPP). Insbesondere unter pathologischen Bedingungen ist der ICP als der effektive stromabwärts gerichtete Druck (EDP) anzusehen. Daher definiert sich der CPP wie folgt:

### FORMEL

$$\text{MAP} - \text{ICP} = \text{CPP}$$

Die Bedeutung des Perfusionsdrucks für die zerebrale Perfusion zeigt sich auch eindrucksvoll bei Untersuchungen der Hirndurchblutung in der Herzchirurgie während der extrakorporalen Zirkulation, die über den Pumpenfluss eine direkte Steuerung des HZV erlaubt. So wurden in tierexperimentellen wie auch in klinischen Untersu-



► **Abb. 3** Untere Autoregulationsgrenzen des gesunden Herzens, eines hypertrophen Herzens und der Niere (exemplarische Darstellung). Perfusionsdruck Herz = diastolischer arterieller Druck–enddiastolischer Druck linker Ventrikel; Perfusionsdruck Niere = mittlerer arterieller Druck–zentraler Venendruck. Abb. nach [13].

chungen der Pumpenfluss (das HZV) und der Perfusionsdruck unabhängig voneinander variiert. Brady et al. zeigten, dass trotz konstantem HZV der zerebrale Blutfluss abnimmt, sobald die untere Grenze der Autoregulation unterschritten wird [14].

#### Merke

Ein „normaler“ HZV-Wert bei einem MAP unter der Autoregulationsgrenze garantiert keine suffiziente zerebrale Perfusion.

#### Niere

Die Niere zeigt nach dem Glomus caroticum die höchste spezifische Durchblutung bei einer geringen Sauerstoffausschöpfung von ca. 7%. Schwankungen des MAP im Bereich von 60–150 mmHg werden durch autoregulatorische Mechanismen ausgeglichen und die Nierendurchblutung von etwa 1,2 l/min (entspricht ca. 20% des HZV) konstant gehalten. Dies sichert die glomeruläre Filtrationsrate von ca. 120 ml/min. Besondere Bedeutung für die Autoregulation haben die Arteriolen zweier hintereinandergeschalteter Kapillarbetten.

#### Herz

Im Unterschied zu Gehirn und Niere erfolgt die Durchblutung des linken Ventrikels hauptsächlich während der Diastole. Der systolische intramurale Druck des Myokards verhindert eine Durchblutung der intramyokardialen und endokardialen Gefäße in der Systole. Damit ist der mittlere diastolische Aortendruck die entscheidende Determinante für die Koronardurchblutung des linken Ventrikels. Die kardiale Sauerstoffextraktion ist im Vergleich verschiedener Organe die höchste (70%) und nur noch ca. um dem Faktor 1,25 steigerbar. Die Autoregulation wird wesentlich von einer koronaren Vasodilatation ge-

tragen: der Koronarreserve. Dieser Autoregulationsmechanismus ist durch einen unteren Perfusionsdruck begrenzt, dessen Unterschreiten zur Abnahme der kardialen Durchblutung und zur Ischämie führt. Allerdings variiert der kritische untere Perfusionsdruck in Abhängigkeit von Herzfrequenz und Herzarbeit.

#### Merke

Ein Perfusionsdruck oberhalb des unteren Grenzwerts der Autoregulation ist essenziell für die suffiziente Sauerstoffversorgung von Gehirn, Herz und Niere.

### Systolischer Druck oder Mitteldruck?

Der SAP ist direkt von der arteriellen Elastance und dem Schlagvolumen abhängig. Die arterielle Elastance wiederum zeigt eine deutliche Abhängigkeit vom Alter. Sie wird vom Widerstand, der arteriellen Compliance und der Impedanz determiniert. Insbesondere die Compliance des arteriellen Systems nimmt mit zunehmendem Alter ab und lässt die Elastance ansteigen. Damit vergrößert sich die Abhängigkeit des SAP vom Schlagvolumen und der Pulsdruck (SAP–diastolischer arterieller Druck) steigt. Da die Autoregulation der wichtigsten Organe jedoch primär vom MAP abhängig ist und der SAP aufgrund der beschriebenen Zusammenhänge sich nicht direkt proportional verhält, sollte aus pathophysiologischer Perspektive zur Steuerung des Blutdrucks der MAP anstelle des SAP Verwendung finden.

## Klinische Herausforderungen

### Zerebrale Durchblutung

Ein erhöhter CPP kann eine Kapillarschädigung mit konsekutiver Ausbildung eines Hirnödems zur Folge haben. Wird die Autoregulationsgrenze mit einem CPP < 50 mmHg unterschritten, führt das bei sonst gesunden Patienten zu einer reduzierten Hirndurchblutung. Die Sauerstoffextraktionsrate des Gehirns beträgt > 30% und kann bei reduziertem zerebralen Blutfluss zur Sicherung der zerebralen Sauerstoffversorgung gesteigert werden. Ist diese Kompensation erschöpft, resultiert ein zerebraler Sauerstoffmangel mit primär funktionellen Ausfällen. Allerdings zeigen sich bereits nach wenigen Minuten strukturelle neuronale Veränderungen, die eine Restitutio ad integrum ausschließen. Bei Patienten mit einer arteriellen Hypertonie ist von einem zu höheren Werten verschobenen Bereich der Autoregulation auszugehen.

### Schädel-Hirn-Trauma

Besonders Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma sind von intraoperativen Hypotonien bedroht. Bei diesen Patienten ist die Autoregulation regelhaft aufgehoben und so von einer linearen Beziehung zwischen Perfusionsdruck und CBF auszugehen. Keinesfalls sollte der EDP bei diesen Patienten vernachlässigt werden. Besonders bei prolon-

gierter operativer Notfallversorgung von Polytraumapatienten mit Schädel-Hirn-Trauma muss mit einem Anstieg des ICP in den ersten Stunden nach dem Trauma gerechnet werden. Der wissenschaftliche Arbeitskreis Neuroanästhesie der DGAI empfiehlt bei diesen Patienten einen CPP von 60–70 mmHg. Da die Kenntnis des ICP eine Voraussetzung für die Steuerung des CPP ist, empfiehlt die DGAI die ICP-Messung bei Patienten mit schwerem Schädel-Hirn-Trauma und pathologischem CT.

### Merke

Der CPP bei Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma kann nicht nur durch einen erniedrigten MAP, sondern auch durch einen hohen ICP gefährdet sein. Die intrakranielle Druckmessung ist bei erhöhtem ICP ein entscheidender Parameter zur Steuerung der CBF.

### Weitere Ursachen

Weitere Gründe für eine gestörte oder aufgehobene zerebrale Autoregulation sind

- eine Hypoxie,
- eine Hyperkapnie oder
- die Anwendung höherer Inhalationsanästhetika-Konzentrationen.

### Folgen auch ohne gestörte Autoregulation

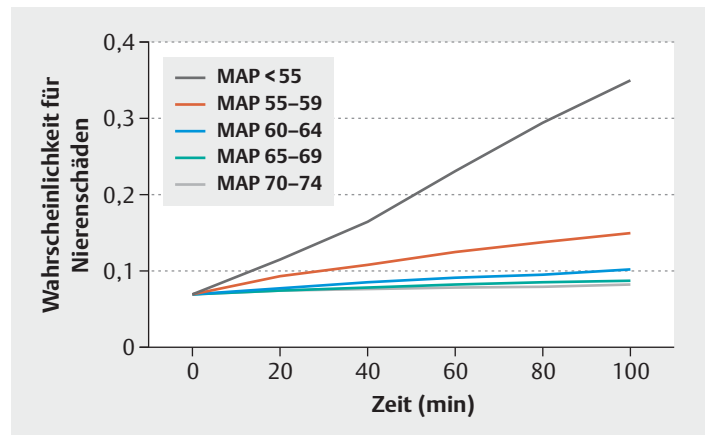
Auch ohne kompromittierte zerebrale Autoregulation sind intraoperative Hypotonien eine klinische Herausforderung. Bijker und Mitarbeiter untersuchten zerebrale Ischämien bei 48 000 nicht herz- oder neurochirurgischen Patienten. Bei intraoperativen Hypotonien  $\leq 30\%$  unter dem Ausgangsblutdruck zeigte die Gruppe eine Assoziation der Episodendauer mit dem Auftreten zerebraler Ischämien, ähnlich einer Dosis-Wirkungs-Beziehung [15].

### Renale Durchblutung

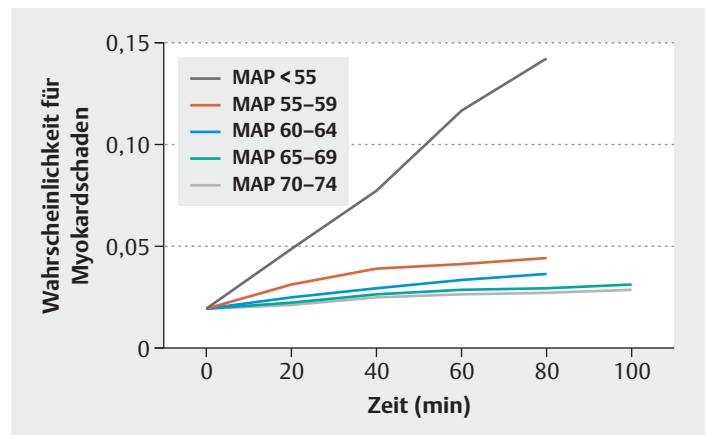
Sobald der MAP den Autoregulationsbereich der Niere unterschreitet, kontrahieren glomeruläre Vas efferentes deutlich und sichern so die glomeruläre Funktion. Allerdings ist die autoregulative Funktion des nachgeschalteten peritubulären Gefäßbettes limitiert. Daher ist Letzteres äußerst anfällig für ischämische Schäden, die auch mit einer Steigerung der Sauerstoffextraktion nicht ausgeglichen werden können. Walsh und Mitarbeiter konnten eine Assoziation zwischen Ausmaß und Dauer intraoperativer Hypotonie-Episoden und akuten Nierenschäden bei 33 000 Patienten mit nicht herzchirurgischen Operationen nachweisen [9]. ► **Abb. 4** zeigt das vorhergesagte Risiko in Anhängigkeit von Ausprägung und Dauer der intraoperativen Hypotonie.

### Kardiale Durchblutung

Intraoperative Hypotonien sind ein unabhängiger Risikofaktor für myokardiale Ischämien. Auch für diese Assoziation hat die Gruppe von Walsh in der erwähnten Untersuchung eine (einer Dosis-Wirkungs-Beziehung vergleichbare) Abhängigkeit zwischen der Ausprägung der intra-



► **Abb. 4** Vorhergesagte Erhöhung des Risikos für akute Nierenschäden in Abhängigkeit von der Ausprägung (mittlerer arterieller Druck, MAP [mmHg]) und der Dauer der intraoperativen Hypotonie. Abb. nach [9].



► **Abb. 5** Vorhergesagte Erhöhung des Risikos für myokardiale Ischämien in Abhängigkeit von der Ausprägung (mittlerer arterieller Druck, MAP [mmHg]) und der Dauer der intraoperativen Hypotonie. Abb. nach [9].

operativen Hypotonie und dem Risiko einer Myokardischämie definiert (► **Abb. 5**).

### Risikogruppen

Darüber hinaus finden sich Besonderheiten bei Patienten mit vorbestehenden kardialen Erkrankungen. Eine Myokardhypertrophie bei lange bestehender oder insuffizient therapierter arterieller Hypertonie verringert die Koronarreserve. In die gleiche Richtung, nämlich die einer Compliance-Störung des linken Ventrikels, wirken erhöhte linksventrikuläre Füllungsdrücke.

### Merke

Daher sollte bei einer relevanten Anzahl perioperativer Patienten nicht von einer physiologischen koronaren Autoregulation ausgegangen werden.

Patienten mit einer koronaren Herzerkrankung stellen eine weitere Risikogruppe für ischämische Ereignisse bei intraoperativen Hypotonien dar. Hier ist es nicht möglich, allgemeingültige Grenzwerte zu definieren, da diese interindividuell sehr verschieden sein können. Eine pragmatische Lösung ist der Erhalt der präoperativ gemessenen Blutdruckwerte in engen Grenzen.

## Periphere arterielle Verschlusskrankheit oder Aortenklappenstenose

### Periphere arterielle Verschlusskrankheit (pAVK)

Periphere Gefäßstenosen reduzieren den Perfusionsdruck auf die Arteriolen nachfolgender Organe. Trotz normaler SAP und MAP kann es so zu einer Minderperfusion kommen, da die Autoregulationsgrenze bereits durch den Druckabfall über der Stenose unterschritten sein kann. Besondere Relevanz haben in diesem Zusammenhang extrakranielle Karotisstenosen. Die DGAI empfiehlt zusammen mit der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie und der Deutschen Gesellschaft für Innere Medizin eine Sonografie der Halsgefäße bei allen Patienten, die in den letzten 3 Monaten einen ischämischen Insult oder eine transitorischen ischämischen Attacke erlitten haben. In diesem Zeitfenster ist das Risiko eines Rezidivs besonders hoch. Darüber hinaus sollte bei allen Patienten vor großen gefäßchirurgischen Eingriffen eine Karotisstenose sonografisch ausgeschlossen werden, da die Inzidenz einer Stenose bei dieser Patientengruppe hoch ist. Die individuelle zerebrale Hypotonietoleranz hängt dabei wesentlich von der Kompensation durch einen intakten Circulus Willisii ab.

### Merke

**Die regelhaft bestehende Koinzidenz einer pAVK mit einer arteriellen Hypertonie definiert diese Patienten als Risikopatienten, bei denen die individuellen Autoregulationsgrenzen nicht unterschritten werden dürfen.**

### Aortenklappenstenose

Die Aortenklappenstenose als proximalste Gefäßstenose führt zu einem Druckabfall über die Stenose mit reduziertem arteriellen Perfusionsdruck. Zusätzlich ist die Steigerung des Schlagvolumens nur bis zu einem durch die Stenose vorgegebenen Grad möglich. Die Abnahme des systemischen Widerstands in Narkose kann nicht durch eine Steigerung des HZV kompensiert werden. Die bei Aortenklappenstenose typische Myokardhypertrophie und erhöhte enddiastolische Füllungsdrücke behindern zusätzlich den subendokardialen Blutfluss und verringern somit die Koronarreserve. Diese Mechanismen addieren sich zur besonderen Gefährdung durch intraoperative Hypotonien unterhalb der Autoregulationsgrenzen. Kommt es zu einer Minderperfusion mit kardialer Funktionsbeeinträchtigung, aggravieren ein weiterer Anstieg des linksventrikulären enddiastolischen Drucks und ein abfallender MAP die kardiale Minderperfusion.

### Merke

**Daher ist die Aufrechterhaltung eines suffizienten Perfusionsdrucks bei diesen Patienten besonders wichtig.**

### Sitzende Lagerung

Speziell bei sitzender oder halbsitzender OP-Lagerung, wie z. B. bei arthroskopischen Schultereingriffen, ist die zerebrale Durchblutung auch bei physiologischer Autoregulation nicht einfach sicherzustellen. Den operativen Vorteilen der Lagerung stehen relevante anästhesiologische Risiken gegenüber. 2005 berichteten Pohl und Cullen über 4 Patienten mittleren Alters, die ischämische Komplikationen an Rückenmark oder Gehirn bei Schulteroperationen in sitzender Lagerung (Beach Chair) erlitten [16]. Diese Komplikationen wurden mit dem Auftreten intraoperativer Hypotonien in Verbindung gebracht.

### Physiologie

Die physiologische Reaktion beim Wechsel vom Liegen in eine aufrechtere Position wird durch eine Aktivierung des Sympathikotonus vermittelt. Dadurch steigen der systemische Widerstand (30–40%) und der Blutdruck (10–15%) und das HZV nimmt ab (15–20%). Da unter Allgemeinanästhesie die sympathoadrenerge Antwort gedämpft ist (geringerer Anstieg des Widerstands, Reduktion von Blutdruck und HZV) [17], ist das Risiko einer Hypotonie in sitzender Lagerung besonders hoch. Darüber hinaus sind die hydrostatischen Effekte auf die Hämodynamik zu berücksichtigen. Denn für die Beurteilung des CPP in sitzender Lagerung existieren 2 Hypothesen:

### Siphon-Hypothese

Die „Siphon-Hypothese“ besagt, dass eine kontinuierliche Blutsäule zwischen arteriellem und venösem Schenkel des zerebralen Gefäßsystems existiert und sich Schwerkrafteffekte auf den arteriellen und venösen Schenkel entsprechend aufheben. Es bedürfte also keiner Korrektur für die Beurteilung des CPP, wenn der Ort der Messung, respektive der Druckwandler bei invasiver Messung, auf einem tieferen Niveau als die zerebrale Zirkulation liegt.

### Wasserfall-Hypothese

Die „Wasserfall-Hypothese“ dagegen postuliert, dass kollabierende Gefäße (im Sinne eines kritischen Verschlussdrucks) die funktionelle Kontinuität der Blutsäule verhindern. Darum muss bei der CPP-Berechnung der Blutdruck um das Gewicht der arteriellen Blutsäule, die zwischen zerebraler Zirkulation und Ort der Messung liegt, korrigiert werden. Pro 1,25 cm Höhendifferenz zwischen Messpunkt und Gehirn reduziert sich der zerebrale Perfusionsdruck um 1 mmHg.

Das Board der Anesthesia Patient Safety Foundation empfahl 2009 bei Patienten in sitzender Lagerung die Korrektur des Blutdrucks nach der Wasserfall-Hypothese.

Trotz bislang fehlender klinischer Evidenz sollte in sitzender Lagerung ein auf Herzhöhe gemessener MAP angestrebt werden, der ca. 20–25 mmHg höher als die angenommene untere Autoregulationsgrenze liegt (bzw. bei invasiver Blutdruckmessung der Druckaufnehmer auf Schädelbasishöhe positioniert werden).

#### Merke

**Auch ASA-I- und -II-Patienten sind in sitzender Lagerung einem erhöhten Risiko zerebraler Minderperfusion ausgesetzt. Zur Steuerung des CPP sollte der MAP um die hydrostatische Druckdifferenz zwischen der Schädelbasis und dem Ort der Druckmessung korrigiert werden.**

### Kontrollierte intraoperative Hypotonie

Bei verschiedenen Elektiv- und Notfalloperationen kann eine kontrollierte intraoperative Hypotonie dazu beitragen, das Mortalitäts- und Morbiditätsrisiko des Eingriffs zu senken. Klassischer Weise handelt es sich um elektive Eingriffe, die auch bei nicht komplikativem Verlauf mit relevantem Blutverlust einhergehen oder bei denen geringste Blutungen die intraoperative Visualisierbarkeit, respektive das OP-Resultat, negativ beeinflussen. Zunehmend wird kontrollierte intraoperative Hypotonie auch zur Voraussetzung für das präzise Einbringen endovaskulärer Grafts in zentrale oder zerebrale arterielle Gefäße.

#### Vorgehen

Die i. v. Applikation kurzwirksamer Vasodilatoren oder ein schnelles ventrikuläres Pacing ermöglichen eine kontrollierte intraoperative Hypotonie mit guter Steuerbarkeit und werden breit eingesetzt. Allerdings zeigen Natrium Nitroprussid und Nitroglycerin ein ausgeprägtes venöses Pooling, das einen Anstieg des intrazerebralen Blutvolumens und letztlich des ICP auslösen kann. Der dadurch steigende kritische Verschlussdruck senkt den CPP zusätzlich zum abfallenden MAP. Die Applikation von Adenosin mit folgendem atrio-ventrikulären Block ist durch ihre kurze Wirkdauer limitiert.

#### Risiko und Nutzen abwägen

Der Einsatz einer kontrollierten intraoperativen Hypotonie erhöht je nach Eskalation das Risiko einer inadäquaten Organperfusion und damit einer temporären oder dauerhaften Funktionseinschränkung der betroffenen Organe. Dieses Risiko muss vor dem Hintergrund des erwarteten Nutzens vorab vom Anästhesisten und Operateur bewertet werden, letztlich auch mit dem Patienten diskutiert und in die Aufklärung einbezogen werden. Bei elektiven Patienten sollte im Vorfeld ein Konsens hinsichtlich Einsatz und Methode erzielt werden.

### Bestimmung der unteren zerebralen Autoregulationsgrenze

#### Verfahren

Die individuelle Bestimmung der unteren Grenze der zerebralen Autoregulation wird in vielen Studien thematisiert. Im Fokus stehen

- die Flussmessung mittels transkraniellem Doppler und
- die regionale Sauerstoffsättigungsmessung des Hämoglobins mittels Nahinfrarotspektroskopie.

Beide Verfahren werden eingesetzt, um zum Erkennen eines kritischen Abfalls der zerebralen Perfusion beizutragen.

#### Datenlage

Brady et al. zeigten bei Patienten an der Herz-Lungen-Maschine keine Korrelation zwischen der regionalen zerebralen Sauerstoffsättigung und dem MAP in den Grenzen der Autoregulation. Unterhalb dieser interindividuell unterschiedlichen Grenze hingegen fand sich eine Korrelation [18]. Allerdings existieren keine Daten, die eine klare Überlegenheit der Nahinfrarotspektroskopie oder des transkraniellen Dopplers für das Verhindern zerebraler Ischämien im Vergleich mit einem Standardmonitoring zeigen. In diesem Zusammenhang ist jedoch zu berücksichtigen, dass auch für die Pulsoxymetrie keine Evidenz hinsichtlich einer Reduktion der perioperativen Morbidität und Mortalität vorliegt.

Die ASA (American Society of Anesthesiologists) adressiert den Einsatz der Nahinfrarotspektroskopie in einer Leitlinie zum perioperativen Blutmanagement. Im Kapitel „Perfusionsmonitoring vitaler Organe“ wird die Nahinfrarotspektroskopie als eines von mehreren möglichen zusätzlichen Monitoringverfahren genannt [19].

#### Merke

**Die mittels Nahinfrarotspektroskopie gemessene regionale zerebrale Sauerstoffsättigung kann zur Identifikation der unteren Autoregulationsgrenzen beitragen.**

### Schlussfolgerung

Es besteht eine Assoziation zwischen intraoperativer Hypotonie und perioperativer Morbidität. Eine Assoziation mit der Mortalität ist für definierte Patientenkollektive wahrscheinlich. Bei diesem Zusammenhang scheinen die Ausprägung und die Dauer der Hypotonie im Sinne einer Dosis-Wirkungs-Beziehung relevant zu sein.

### KERNAUSSAGEN

- Es existiert keine einheitliche Definition der intraoperativen Hypotonie.
- Intraoperative Hypotonien sind eine häufige Komplikation.
- Ein normaler Blutdruck erlaubt ohne Kenntnis des Widerstands keinen Rückschluss auf das Herzzeitvolumen.
- Die konstante Durchblutung von Gehirn, Herz und Niere wird über weite Bereiche des mittleren arteriellen Drucks durch Autoregulation gesichert.
- Arterielle Hypertonie verschiebt die Autoregulationsgrenzen zu höheren Werten.
- Werden individuelle Autoregulationsgrenzen unterschritten, sinkt die Organdurchblutung.
- Die Autoregulation kann durch akute oder chronische Erkrankungen (z. B. durch ein Schädel-Hirn-Trauma oder Gefäßstenosen) beeinträchtigt oder aufgehoben sein.
- Es besteht eine Assoziation der intraoperativen Hypotonie mit Ischämien von Gehirn, Herz und Niere, ohne, dass bislang eine Kausalität bestätigt ist.
- Die Abhängigkeit der Organschäden von Ausmaß und Dauer der intraoperativen Hypotonie (im Sinne einer Dosis-Wirkungs-Beziehung) macht eine ursächliche Verknüpfung wahrscheinlich.
- Die Messung der regionalen zerebralen Sauerstoffsättigung kann zum Erkennen der unteren Autoregulationsgrenze beitragen.

### Literatur

- [1] Warner MA, Monk TG. The impact of lack of standardized definitions on the specialty. *Anesthesiology* 2007; 107: 198–199
- [2] Bijker JB, van Klei WA, Kappen TH et al. Incidence of intraoperative hypotension as a function of the chosen definition: Literature definitions applied to a retrospective cohort using automated data collection. *Anesthesiology* 2007; 107: 213–220
- [3] Löwel H, Meisinger C, Heier M et al. Epidemiologie der arteriellen Hypertonie in Deutschland. *Dtsch med Wochenschr* 2006; 131: 2586–2591
- [4] Taffé P, Sicard N, Pittet V et al.; ADS Study Group. The occurrence of intra-operative hypotension varies between hospitals: Observational analysis of more than 147,000 anaesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand* 2009; 53: 995–1005
- [5] Nair BG, Horibe M, Newman SF et al. Anesthesia information management systembased near real-time decision support to manage intraoperative hypotension and hypertension. *Anesth Analg* 2014; 118: 206–214
- [6] Sessler DI, Sigl JC, Kelley SD et al. Hospital stay and mortality are increased in patients having a “triple low” of low blood pressure, low bispectral index, and low minimum alveolar concentration of volatile anesthesia. *Anesthesiology* 2012; 116: 1195–1203
- [7] Kertai MD, White WD, Gan TJ. Cumulative duration of “triple low” state of low blood pressure, low bispectral index, and low minimum alveolar concentration of volatile anesthesia is not associated with increased mortality. *Anesthesiology* 2014; 121: 18–28
- [8] Willingham MD, Karren E, Shanks AM et al. Concurrence of intraoperative hypotension, low minimum alveolar concentration, and low bispectral index is associated with postoperative death. *Anesthesiology* 2015; 123: 775–785
- [9] Walsh M, Devereaux PJ, Garg AX et al. Relationship between intraoperative mean arterial pressure and clinical outcomes after noncardiac surgery: toward an empirical definition of hypotension. *Anesthesiology* 2013; 119: 507–515
- [10] Monk TG, Saini V, Weldon BC et al. Anesthetic management and one-year mortality after noncardiac surgery. *Anesth Analg* 2005; 100: 4–10
- [11] Bijker JB, van Klei WA, Vergouwe Y et al. Intraoperative hypotension and 1-year mortality after noncardiac surgery. *Anesthesiology* 2009; 111: 1217–1226
- [12] Kottenberg-Assenmacher E, Aleksic I, Eckholt M et al. Critical closing pressure as the arterial downstream pressure with the heart beating and during circulatory arrest. *Anesthesiology* 2009; 110: 370–379
- [13] Bellomo R, Giantomasso DD. Noradrenaline and the kidney: friends or foes? *Crit Care* 2001; 5: 294–298
- [14] Brady K, Joshi B, Zweifel C et al. Real-time continuous monitoring of cerebral blood flow autoregulation using near-infrared spectroscopy in patients undergoing cardiopulmonary bypass. *Stroke* 2010; 41: 1951–1956
- [15] Bijker JB, Persoon S, Peelen LM et al. Intraoperative hypotension and perioperative ischemic stroke after general surgery: a nested case-control study. *Anesthesiology* 2012; 116: 658–664
- [16] Pohl A, Cullen DJ. Cerebral ischemia during shoulder surgery in the upright position: a case series. *J Clin Anesth* 2005; 17: 463–469
- [17] Porter JM, Pidgeon C, Cunningham AJ. The sitting position in neurosurgery: a critical appraisal. *Br J Anaesth* 1999; 82: 117–128
- [18] Brady K, Joshi B, Zweifel C et al. Real-time continuous monitoring of cerebral blood flow autoregulation using near-infrared spectroscopy in patients undergoing cardiopulmonary bypass. *Stroke* 2010; 41: 1951–1956
- [19] American Society of Anesthesiologists Task Force on Perioperative Blood Management. Practice guidelines for perioperative blood management: an updated report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Perioperative Blood Management. *Anesthesiology* 2015; 122: 241–275

## Über die Autoren

---



### **PD Dr. med. Malte Book, DESA**

ist Oberarzt an der Universitätsklinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie am Klinikum Oldenburg. Sein klinischer Schwerpunkt Kardioanästhesie und Echokardiografie wird durch den Forschungsschwerpunkt der perioperativen Inflammation ergänzt.



### **Dr. med. Florian Jelschen**

ist Oberarzt an der Universitätsklinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie am Klinikum Oldenburg. Seine Forschungsschwerpunkte umfassen die Hämodynamik kritisch kranker Patienten und die supportive Sepsistherapie.



### **Prof. Dr. med. Andreas Weyland, DEAA**

ist Direktor der Universitätsklinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie am Klinikum Oldenburg. Seine Forschungsschwerpunkte umfassen die systemische und zerebrale Hämodynamik, die Therapie des septischen Schocks sowie die Validierung von Monitoringverfahren.

## Korrespondenzadresse

---

### **Prof. Dr. Andreas Weyland, DEAA**

Universitätsklinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie, Klinikum Oldenburg AöR, Medizinischer Campus Universität Oldenburg  
Rahel-Straus-Straße 10  
26133 Oldenburg  
weyland.andreas@klinikum-oldenburg.de

## Interessenkonflikt

---

Andreas Weyland hat im Rahmen von Satellitensymposien Referentenhonorare und Reisekostenerstattungen erhalten von der Firma Ratiopharm, die ein Antihypotonikum anbietet. Die anderen Autoren erklären, dass keine Interessenkonflikte vorliegen.

## Bibliografie

---

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0042-106052>  
Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther 2017; 52:  
16–27 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York  
ISSN 0939-2661

## CME-Fragen bei CME.thieme.de

Viel Erfolg bei Ihrer CME-Teilnahme unter <http://cme.thieme.de>  
Bitte informieren Sie sich über die genaue Gültigkeitsdauer unter <http://cme.thieme.de>  
Sollten Sie Fragen zur Online-Teilnahme haben, unter <http://cme.thieme.de/hilfe>  
finden Sie eine ausführliche Anleitung.

VNR 2760512017152371466

### Frage 1

Welche Aussage ist richtig? Intraoperative Hypotonie ist ...

- A ein diastolischer Druck < 45 mmHg.
- B nicht allgemeingültig definiert.
- C ein mittlerer arterieller Druck (MAP) < 50 mmHg für 20 min.
- D ein Abfall des systolischen Drucks (SAP) > 30% des Ausgangswerts.
- E extrem selten.

### Frage 2

Welche Aussage ist richtig? Eine intraoperative Hypotonie ...

- A beweist ein „low output“-Syndrom.
- B beweist einen niedrigen systemischen Widerstand (SVR).
- C wird bis zu einem MAP von 30 mmHg durch Autoregulation kompensiert.
- D ist kausale Ursache perioperativer Organdysfunktionen.
- E ist statistisch mit perioperativen Organdysfunktionen assoziiert.

### Frage 3

Welche Aussage ist richtig? Die Koronardurchblutung des linken Ventrikels ...

- A ist unabhängig vom Herzzyklus.
- B findet hauptsächlich in der Systole statt.
- C findet hauptsächlich in der Diastole statt.
- D ist proportional zur myokardialen Wandstärke.
- E hängt wesentlich von der systolischen Druckanstiegsgeschwindigkeit ab.

### Frage 4

Welche Aussage ist richtig? Zerebrale Autoregulation ...

- A sichert beim Gesunden die zerebrale Durchblutung zwischen MAP 60–160 mmHg.
- B wird durch eine arterielle Hypertonie aufgehoben.
- C sichert die zerebrale Durchblutung zwischen SAP 110–180 mmHg.
- D wird durch einen erhöhten intrakraniellen Druck (ICP) nicht beeinflusst.
- E meint die Proportionalität von Druck und Fluss zwischen SAP 70–190 mmHg.

### Frage 5

Welche Aussage ist richtig? Das Gesetz nach Darcy ...

- A beschreibt die Proportionalität zwischen Perfusionsdruck und Fluss.
- B ist für strömende Flüssigkeiten ungeeignet.
- C beschreibt die umgekehrte Proportionalität zwischen Perfusionsdruck und Fluss.
- D beinhaltet die Parameter Perfusionsdruck, Geschwindigkeit und Widerstand.
- E beschreibt die Proportionalität zwischen Widerstand und Fluss.

### Frage 6

Welche Aussage ist richtig? Nahinfrarotspektroskopie ...

- A misst Vorlastparameter.
- B misst Nachlastparameter.
- C misst regional physikalisch gelösten Sauerstoff.
- D misst regional die Sauerstoffsättigung von Hämoglobin.
- E misst regional die Sauerstoffextraktionsrate.

### Frage 7

Für das Gesetz nach Darcy (Perfusionsdruck = Fluss × Widerstand) gilt:

- A Der MAP entspricht dem Perfusionsdruck.
- B MAP–ZVD entspricht dem Perfusionsdruck.
- C SAP–ZVD entspricht dem Perfusionsdruck.
- D Der SAP entspricht dem Perfusionsdruck.
- E SAP–diastolischer Druck entspricht dem Perfusionsdruck.

### Frage 8

Welche Aussage ist richtig? Unterhalb der unteren zerebralen Autoregulationsgrenze ...

- A verhalten sich MAP und zerebraler Blutfluss (CBF) umgekehrt proportional.
- B steigt der CBF durch eine Verringerung des Widerstands.
- C kann die Sauerstoffextraktion nicht gesteigert werden.
- D sinkt der CBF proportional zum MAP.
- E steigt die Sauerstoffextraktion max. auf das 4-Fache.

► Weitere Fragen auf der folgenden Seite ...

### Frage 9

Welche Aussage ist richtig? Die Siphon-Hypothese ...

- A beschreibt die Bedeutung von Krümmungen  $>90^\circ$  in der arteriellen Strombahn.
- B fordert gleiche Höhe des Druckmesspunkts mit dem zerebralen Stromgebiet zur Abschätzung des zerebralen Blutdrucks.
- C fordert eine Korrektur von 0,2 mmHg/cm Höhenunterschied des Messpunkts zum Gehirn zur Abschätzung des zerebralen Blutdrucks.
- D fordert eine Korrektur von 1,25 mmHg/cm Höhenunterschied des Messpunkts zum Gehirn zur Abschätzung des zerebralen Blutdrucks.
- E postuliert die Kontinuität einer Blutsäule zwischen arteriellem und venösem System.

### Frage 10

Welche Aussage ist richtig? Die normale Sauerstoffextraktionsrate ...

- A von Gehirn, Herz und Niere beträgt 25%.
- B von Gehirn, Herz und Niere ist nicht veränderbar.
- C des Herzens ist ca. 70%.
- D der Niere ist ca. 35%.
- E des Gehirns ist ca. 10%.