

Intraoperative Narkoseüberwachung: Parameterauswahl und deren Aussagekraft

In Kürze

Das Hauptaugenmerk bei der intraoperativen Narkoseüberwachung liegt auf den Herz-, Kreislauf- und Atemparametern. Begründet ist dies vor allem in den Nebenwirkungen der meisten Prämedikations- und Narkosemittel. Sie modulieren häufig Herz- und Lungenfunktionen in unerwünschter Weise. Eine möglichst wenig invasive kontinuierliche und zuverlässige Überwachung der Vitalfunktionen während einer Allgemeinanästhesie ist in der Humanmedizin unabdingbar, für die Tiermedizin gilt es einen Kompromiss zwischen technisch möglichen und machbaren und finanziell tragbaren Aufwendungen zu finden. In diesem Beitrag werden die wichtigsten Überwachungsinstrumente und deren Einsatzgebiete und Grenzen besprochen.



EKG Überwachung

Die intraoperative EKG-Überwachung ist nichtinvasiv, kontinuierlich und relativ einfach in der Anwendung. Mit dem EKG wird die elektrische Aktivität des Herzmuskels direkt gemessen, wodurch Informationen über eventuelle Herzrhythmusstörungen, Ischämien des Myokards oder Elektrolyt-Imbalancen gewonnen werden können. Auch die Herzfrequenz wird fortlaufend erfasst. Das EKG gibt uns jedoch keine direkte Auskunft über die mechanische Herzfunktion.



Ganz einfache Geräte registrieren lediglich einen QRS-Komplex und geben ihn als Piep-Signal wieder am Display kann die Herzfrequenz pro Minute abgelesen werden. Diese Geräte benötigen lediglich zwei Brustwandableitungen. Beim Überwachungs-EKG wird gewöhnlich die zweite Ableitung zum intraoperativen Monitoring herangezogen, da in dieser Ableitung der P-QRS-T Komplex die größte Amplitude aufweist. Die exakte Befestigung der EKG-Elektroden hängt jedoch von der Position des Patienten und vom Operationsfeld ab. Normalerweise benötigt man die 4 Extremitäten-Ableitungen, eine gute Alternative bieten ösophageale EKG Sonden, die neben den EKG Elektroden noch ein Auskultations-Diaphragma und einen Temperatursensor besitzen. Es ist immer empfehlenswert ein Gerät auszuwählen, dass über einen "Freeze-Modus" oder eine zusätzliche Ausdrucksmöglichkeit verfügt, da andernfalls keine Dokumentation möglich ist. Es kann von unschätzbarem Vorteil sein frühere und spätere EKG-Verlaufskurven miteinander zu vergleichen. Die definitive Diagnose einer Herzrhythmusstörung wird mit Hilfe des EKGs gestellt. Intraoperative Herzrhythmusstörungen können viele Ursachen haben:

- Hypoxie

- Hyperkapnie
- endogene Katecholaminausschüttung
- Hypothermie
- Anomalien im Elektrolythaushalt
- Narkotika (Alpha-2-Agonisten, Opiode, Halothan, Thiobarbiturate)

Treten intraoperative Herzrhythmusstörungen auf, muss

- die Art der Herzrhythmusstörung diagnostiziert,
- die zugrunde liegende Ursache festgestellt und
- je nach Ätiologie eine entsprechende Therapie eingeleitet werden.

Die häufigsten Arten von intraoperativen Herzrhythmusstörungen stellen **Bradykardie, Sinustachykardie, atrioventrikuläre Überleitungsblöcke**, sowie vorzeitige **supraventrikuläre und ventrikuläre Extrasystolen** dar.

Um eine spezielle intraoperative Herzrhythmusstörung genau identifizieren zu können, müssen folgende Fragen beantwortet werden:

- Ist die Herzfrequenz zu hoch oder zu niedrig?
- Ist der Rhythmus regelmäßig?
- Besteht eine gleichmäßige P-QRS-T Welle von normaler Größe und Form?
- Sind Pulsdefizite vorhanden?
- Geht jedem QRS-Komplex eine P-Welle voraus?
- Ist das P-R Intervall verkürzt?
- Besteht eine kompensatorische Pause nach der P-QRS-T Welle?
- Sind die T-Wellen abnorm groß?
- Besteht eine Verkürzung oder Verwischung des S-T Segments?

Bradykardie

Herzfrequenzen von unter 60 Schlägen pro Minute beim Hund und unter 80 Schlägen pro Minute bei der Katze sollten als Bradykardie angesehen werden. Verschiedene Ursachen können Bradykardie hervorrufen:

- übertriebene Narkosetiefe
- erhöhter Vagotonus
- Hypoxie
- Medikamente (Opiode, Alpha-2-Agonisten)
- Hypothermie
- Hyperkaliämie
- Überleitungsstörungen im Herzmuskel.

Therapie

Sinusbradykardien sollten behandelt werden, wenn sie zu einem Absinken des Herzzeitvolumens und/oder des Blutdrucks führen, wobei sich die spezifische Therapie nach der zugrunde liegenden Ursache richtet.

Die nicht spezifische Therapie besteht in der Verabreichung von **Atropin (0,011 – 0,022 mg/kg i.v.)**. Wenn die Sinusbradykardie nicht auf Atropin anspricht, dann könnten **Dopamin (2,5 - 20 µg/kg/min)** oder **Dobutamin (2,5 - 20 µg/kg/min)** angezeigt sein.



Tachykardie

Herzfrequenzen von über 180 Schlägen pro Minute beim Hund und über 200 Schlägen pro Minute bei der Katze sind als Sinustachykardien zu betrachten. Diese sind meist auf Stress oder Krankheiten zurückzuführen und können bedingt sein durch:

- zu hohe Dosen von Narkotika
- Hyperkapnie
- Hypovolämie
- Hypotension
- Hypoxie
- Medikamente (dissoziative Narkotika, Atropin)
- Hyperthermie
- Hyperthyreoidismus

Therapie

Die Behandlung von Sinustachykardien zielt für gewöhnlich auf die zugrunde liegende Ursache ab und nicht auf die Sinustachykardie selbst.

Arrhythmie

Atrioventrikuläre Überleitungsblöcke (Herzblöcke ersten, zweiten und dritten Grades) sind auf dieselben Ursachen zurückzuführen wie Sinusbradykardien und werden in der gleichen Art behandelt.

Vorzeitige atriale und ventrikuläre **Extrasystolen** können verschiedener Ätiologie sein und entstehen durch

- zu tiefe oder zu oberflächliche Narkose
- Hypoxie
- Hyperkapnie ($p\text{CO}_2 > 45 \text{ mm Hg}$)
- Hypovolämie, Hypotension
- Katecholamine (endogenen oder exogenen Ursprungs)
- Hypokaliämie
- Hyperkaliämie
- Hyperkalzämie
- Narkotika (Halothan, Alpha-2-Agonisten, Thiobarbiturate)
- Endokarditis oder Myokarditis
- schwere Hypothermie ($< 26^\circ \text{ C}$)
- endokardiale Stimulation
- intrakraniale Störungen
- große Vor- oder Nachlast

Die den vorzeitigen atrialen und ventrikulären Extrasystolen zugrunde liegende Ursache sollte, wenn möglich, ermittelt und behandelt werden. Im besonderen sollten intraoperativ auftretende vorzeitige

Extrasystolen behandelt werden, wenn sie in Frequenz oder Schweregrad steigen, multifokal werden oder sich zu einer ventrikulären Tachykardie entwickeln. Während sich die spezifische Therapie nach der zugrunde liegenden Ursache richtet, besteht die nicht spezifische Therapie aus einer Schätzung der Narkosetiefe, einer intermittierenden positiven Druckventilation mit 100%-igem Sauerstoff und der Verabreichung von Infusionen bzw. der Erhöhung der Infusionsrate. Wenn die vorzeitigen Extrasystolen dennoch bestehen bleiben, multifokal sind bzw. eine ventrikuläre Tachykardie auftritt, sollten Antiarrhythmika in Betracht gezogen werden:

- Antiarrhythmika
- Lidocain (Xylocain®, Lidocain®)
1 bis 5 mg/kg langsam i.v.
- Procainamid (Procainamid-Duriles®)
1 bis 5 mg/kg i.v.
- Propanolol (β -Sympatholytikum, Dociton®)
0,05 bis 0,3 mg/kg i.v.
- Verapamil (Ca-Antagonist, Isoptin®)
0,05 bis 0,15 mg/kg i.v.

Merke: Die EKG-Überwachung sollte nicht als einzige Methode zur Überwachung der Herz-Kreislauf-Funktionen herangezogen werden. Trotz ihrer Grenzen kann sie jedoch wertvolle Informationen über die elektrische Aktivität des Herzmuskels liefern.

Blutdruckmessung

Der arterielle Blutdruck ist das Produkt von Herzzeitvolumen (Herzfrequenz x Schlagvolumen) und peripherem Widerstand. Viele der zur Prämedikation verwendeten Medikamente und ein Großteil der Narkotika beeinflussen einen oder mehrere dieser Parameter und können zu einer beachtlichen Hypotonie führen. Ein eventueller Blutverlust während des operativen Eingriffs führt zu vermindertem venösen Druck und Schlagvolumen. Die entstehende Hypotonie kann als erstes Anzeichen für eine drohende Narkosekomplikation interpretiert werden.



Merke: Zur adäquaten Durchblutung der Gehirn- und Koronargefäße ist ein durchschnittlicher systemischer Blutdruck von 50 bis 60 mmHg notwendig.

Bei Tieren kann der arterielle Blutdruck sowohl mit indirekten als auch mit direkten Techniken gemessen werden. Dabei sind direkte Messungen im Vergleich zu indirekten Methoden genauer und gleichmäßiger,

setzen jedoch das Einführen eines Katheters in eine Arterie mittels perkutanem- oder dem sog. Cutdown-Verfahren voraus. Dieser Katheter muß daraufhin stündlich oder sogar kontinuierlich gespült werden.

Indirekte Blutdruckmessung

Die indirekte Blutdruckmessung kann über Palpation, Sphygmomanometrie, mit Hilfe eines Dopplers oder der Oszillometrie-Technik erfolgen. All diese indirekten Verfahren sind im Falle von kleinen Blutgefäßen, Bewegungen des Patienten, niedrigem Blutdruck und verengten Gefäßen höchst ungenau.

Dopplermessung

Für die Messung mittels Doppler muß ein kleiner piezoelektrischer Kristall über einer Arterie angebracht werden durch welchen hochfrequente Energie auf das darunter liegende Gewebe abgestrahlt wird. Die von bewegten Geweben reflektierte Energiefrequenz ist gegenüber der vom Gerät ausgesandten Frequenz leicht verschoben. Dieser Frequenzunterschied wird elektronisch in ein hörbares Geräusch umgewandelt. Mit Doppler-Geräten, die den Blutstrom im Gefäß wiedergeben kann der systolische Blutdruck gemessen werden; andere Geräte erzeugen Signale über die Bewegung der Arterienwand, wodurch sie für die Messung sowohl des systolischen als auch des diastolischen Blutdrucks herangezogen werden können.

Oszillometrische Messung

Bei der Oszillometrie-Technik werden Druckveränderungen innerhalb einer angelegten Manschette gemessen. Jede Pulswelle führt zu minimalen Druckimpulsen in der Manschette, die gemessen werden während langsam Luft aus der Manschette abgelassen wird. Auf diese Weise werden systolischer, durchschnittlicher und diastolischer Blutdruck, sowie die Herzfrequenz berechnet und angezeigt. Viele dieser Instrumente können auf wiederholte Messungen in bestimmten Zeitintervallen programmiert werden. Nicht alle Geräte dieser Art funktionieren bei kleinen Hunden oder Katzen gut (die Messungen sind zuverlässiger bei mittleren und großen Hunden). Alle Geräte reagieren höchst sensibel auf geringste Bewegungen, was zu Bewegungs-Artefakten oder zum automatischen Abbruch der Messungen führt.

Normale Blutdruckbereiche

- systolisch: 100 bis 160 mmHg
- diastolisch: 60 bis 100 mmHg
- durchschnittlich 80 bis 120 mmHg

Merke: Liegt der systolische Blutdruck unter 80 mmHg und der durchschnittliche Blutdruck unter 60 mmHg, so ist eine adäquate Durchblutung von Gehirn- und Koronargefäßen nicht mehr gewährleistet.

Hypotension kann auf Hypovolämie, periphere Vasodilatation oder vermindertes Herzzeitvolumen zurückzuführen sein, wobei erstere die häufigste Ursache darstellt. Als Flüssigkeitsersatz eignet sich zu Beginn am besten eine Natrium enthaltende, kristalloide Multielektrolytlösung; z.B. etwa Ringerlösung.

Ein vermindertes Herzzeitvolumen kann durch verschiedene Störungen bedingt sein. Die zugrunde liegende Ursache sollte herausgefunden und, wenn möglich, behoben werden. Für eine Langzeitbehandlung sollten Sympathomimetika mit minimaler peripherer Vasokonstriktion herangezogen werden:

- Dobutamin (β -1-Sympathomimetikum, Dobutrex®)
- 5 - 10 μ g/kg/min DTI
- Dopamin (α und β -Sympathomimetikum, Dopamin-Fresenius®)
- 2 – 5 μ g/kg/min DTI

Die Hypotension stellt eine der wichtigsten Narkosekomplikationen dar. Frühzeitige Erkennung und Behandlung dieses Zustands hängen von der Überwachung des arteriellen Blutdrucks bei prädisponierten

Risikopatienten ab. Direkte Blutdruckmessung ist dabei die genaueste Methode, doch indirekte Techniken zur Blutdrucküberwachung sind einfacher anzuwenden und weniger invasiv. Letztere eignen sich daher gut zur Messung von Blutdruckschwankungen im Zuge von Anästhesien und chirurgischen Eingriffen.

Kapnographie

Unter Kapnographie versteht man die Messung des endexpiratorischen Kohlendioxidgehalts in der Ausatemluft eines Patienten; wobei indirekt auch der $p\text{CO}_2$ bestimmt werden kann. Es gibt zwei Messprinzipien. Entweder wird wie bei der Ultrarotabsorptionsmethode im Hauptstrom der Ausatemluft durch einen Sensor direkt am Konnektor des Trachealtubus gemessen oder im Nebenstrom. Bei Nebenstromgeräten werden kontinuierlich geringe Gasmengen aus dem Expirium abgesaugt und analysiert.



Die Messergebnisse werden grafisch auf einem Monitor als Verlaufskurven wiedergegeben, wobei das $p\text{CO}_2$ Maximum meist zusätzlich digital angezeigt wird. Manche Geräte messen semiquantitativ und zeigen die $p\text{CO}_2$ Werte als digitales Balkendiagramm an.

Bei normaler Lungenfunktion entspricht der endexpiratorische Kohlendioxidgehalt der Ausatemluft dem arteriellen Kohlendioxidgehalt ($p\text{CO}_2$). Beträgt zum Beispiel der Spitzen-Kohlendioxidgehalt am Ende der Expiration 5 %, so entspricht dieser einem $p\text{CO}_2$ von 40 mmHg.

Erhöhte $p\text{CO}_2$ Werte können auftreten bei:

- Anstieg der Kohlendioxidproduktion
- Wiederatmung
- Absinken des Atemminutenvolumens
- Lungenerkrankungen
- Erschöpfung des Natriumbikarbonat-Vorrats

Erniedrigte $p\text{CO}_2$ Werte können auftreten bei

- Apnoe
- Anstieg des Atemminutenvolumens
- Verlegung der Atemwege
- Obstruktion des Tracheotubus
- Unterbrechung des Atemkreislaufs
- undichte Stelle innerhalb des Atemkreislaufs
- Fehlintonation des Ösophagus ($p\text{CO}_2$ Wert = 0)

Es gibt Anästhesisten, die betonen, dass die Kapnometrie nicht nur das aussagekräftigste sondern auch das wichtigste Monitoring sei. Die Überwachung des endexpiratorischen Kohlendioxidgehalts liefert wertvolle Dienste bei der Erkennung von Hypoventilation, Apnoe, Obstruktion der Atemwege und der Unterbrechung

des Atemkreislaufs. Wenn die Atemfrequenzen allerdings extrem hoch sind (>60 Atemzüge pro Minute), verlieren Kapnometer an Genauigkeit.

Die Erfassung der Atemfrequenz kann auch mit einfachen Atemmonitoren erfolgen. Ein Sensor am Trachealtubus registriert jeden Atemzug und löst nach einer definierten Zeitspanne der Apnoe einen akustischen Alarm aus.

Pulsoxymetrie

Die in letzter Zeit sehr populär gewordene Pulsoxymetrie ermöglicht eine unmittelbare Schätzung der arteriellen Oxyhämoglobin-Sättigung. Die optische Dichte des Hämoglobins wird dabei anhand der unterschiedlicher Wellenlängen des Lichtes gemessen. Die Sauerstoffsättigung von Hämoglobin stellt sich als Logarithmus-Funktion der Lichtintensität nach der Durchleuchtung von Hämoglobin dar, solange Intensität der Lichtquelle und Hämoglobinkonzentration konstant bleiben. Die entsprechenden Instrumente messen den Unterschied zwischen der Lichtabsorption während der Pulswelle (angenommenes arterielles Blut) und der Basisabsorption (durch venöses Blut, Gewebe und Knochen bedingt). Arterieller pO_2 und Oxyhämoglobinsättigung (SaO_2) sind nicht linear korreliert; dennoch gibt die SaO_2 eine brauchbare Auskunft über die Sauerstoffversorgung des Gewebes.

Pulsoxymeter bestehen aus einem Sensor, einem Mikroprozessor und einer Anzeige. Man erhält zuverlässige Werte, wenn der Sensor an die Zwischenzehenhaut, an die Scheidenhaut oder an das geschorene Ohr angebracht wird. Bei Narkosepatienten hat sich die Anbringung des Sensors an der Zunge für den Erhalt von gleich bleibenden und zuverlässigen Werten allerdings am besten bewährt. Kürzlich



wurde auch ein rektaler Pulsoxymetrie-Sensor entwickelt.

Verschiedene Faktoren können die Pulsoxymetrie beeinflussen z.B. Bewegungen des Patienten, Pigmentierungen, verminderte Durchblutung, Hypothermie, Anämie und erhöhte Serumbilirubinwerte. Im Falle von solchen Artefakten werden im Vergleich zur tatsächlichen Sauerstoffsättigung generell zu niedrigere Werte (insbesondere auch Pulsfrequenzen) angezeigt. Solche Fehlalarme können sehr irritieren und sogar zu falschen Maßnahmen verleiten (Gabe von Atropin oder Suprarenin wegen einer vermeintlichen Bradykardie). Man sollte zu erst immer die korrekte Lage des Sensors überprüfen; bisweilen hat sich bei längerer Anästhesiedauer unter dem Sensorclip eine kleine Ischämiezone gebildet, die eine generell zu geringe Gewebepfusion vortäuscht. Im Zweifelsfalle ist es immer richtig sofort die Sauerstoffzufuhr zu erhöhen.



Mit Hilfe eines Pulsoxymeters kann der Anästhesist auf Episoden von Hypoxie beim in Narkose liegenden Patienten aufmerksam gemacht werden. Die vom Pulsoxymeter angezeigten Werte sollten 95 % nicht unterschreiten. Ein Wert von 90 % entspricht einem pO_2 von 60 mmHg, was bereits als ernste Hypoxie aufzufassen ist. Länger anhaltende Werte zwischen 91 % und 93 % sagen aus, dass die Oxyhämoglobinsättigung deutlich unter dem Normalbereich liegt und dass konsequente Schritte zur Beseitigung der Hypoxie erforderlich sind.



Ursachen für niedrige Pulsoxymetriewerte sind:

- Hypoventilation
- Apnoe
- verminderte Durchblutung
- Verlegung der Luftwege
- nicht adäquate oder fehlende Sauerstoffversorgung
- Störungen der Lungenfunktion

Pulsoxymeter bieten eine kontinuierliche, unmittelbare, nichtinvasive Schätzung der Sauerstoffversorgung beim Narkosepatienten. Sie sind nicht narrensicher und verschiedene Faktoren können die Genauigkeit der Ergebnisse beeinflussen. Allerdings können sie als zusätzliche Überwachungsgeräte für den in Narkose liegenden Patienten sehr hilfreich sein. Mittlerweile gibt es durchaus erschwingliche kleine Geräte die Pulsoxymeter, Kapnometer und Atemmonitor in einem sind.