

1 Erfassung und Verarbeitung biologischer Signale

Das Monitoring eines Patienten, sei es im Krankenhaus, in der Praxis oder beim Hausbesuch/Notarzteinsatz stützt sich neben der Anamnese auf die körperliche Untersuchung. Diese körperliche Untersuchung kann als die einfachste Art der Erfassung biologischer Signale gedeutet werden. Wie selbstverständlich werden hierzu bereits Hilfsmittel wie das Stethoskop benutzt. Bei der elektronischen Erfassung von biologischen Signalen wird das eigentliche Signal primär in eine Spannungs-, Strom-, Ladungs- oder Widerstandsänderung übersetzt, verstärkt, prozessiert und dann in geeigneter Weise ausgegeben. Die einzelnen Schritte sind potentiell fehleranfällig und müssen technisch unter gesetzlichen Bestimmungen (Medizinproduktegesetz, DIN- und EU-Normen etc.) regelmäßig kontrolliert und geprüft werden. Sie entziehen sich somit der direkten Kontrolle durch den medizinischen Anwender. In den einzelnen Kapiteln dieses Buches wird immer wieder auf spezifische praktische Probleme bei der Erfassung und Interpretation von Messsignalen eingegangen, so dass in diesem Kapitel allgemeine Probleme vor allem der Erfassung von Signalen erläutert werden sollen. Bei der Erfassung sind es meist Probleme direkt am Patienten bzw. beim Weitertransport des Signals zum Monitor, bei der Verarbeitung spielen vor allem die Unterscheidung zwischen Artefakt und tatsächlich vorliegender Störung die größte Rolle.

1.1 Probleme bei der Erfassung biologischer Signale

In der Praxis sind Probleme bei der Erfassung von Signalen vor allem im Bereich der Intensivmedizin alltäglich. Die korrekte Ableitung eines EKG-Signals bei schwitzendem/frierendem Patienten, nichtinvasive Blutdruckmessung bei zu kleiner/zu großer Manschette, bzw. sehr niedrigem Blutdruck und die Erfassung der korrekten peripheren Hämoglobinsauerstoffsättigung sind die wohl bekanntesten klinischen Probleme. Hierzu muss man die Signalerfassung der einzelnen Systeme kennen, welche hier nur angeschnitten werden können. Um dies an Hand eines Beispiels zu erläutern sei auf die unterschiedliche Signalerfassung bei der Messung der Sauerstoffsättigung verwiesen (vgl. Kap. I 4.3 und Abb. 1). Ein Sensor, der für die Durchleuchtungsmessung konstruiert ist, kann bei der Streulichtmessung kein adäquates Signal aufzeichnen. Da es für jedes Messverfahren und jede Messung unterschiedliche Probleme sowohl technischer als auch anwendungsbezogener und nicht zuletzt auch patientenbezogener Art gibt, ist in jedem Kapitel ein eigener Punkt eingefügt, der sich mit Fehler-(Behaltungs-)Möglichkeiten beschäftigt.

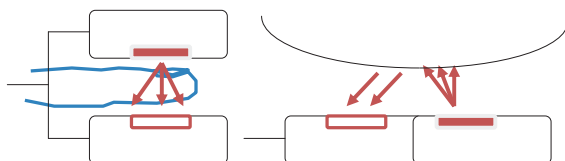


Abb. 1 Unterschiedliche Signalerfassung bei verschiedenen Oxymetern: Wird der Fingersensor (linker Sensortyp) am Kopf (rechts) eingesetzt, kann die Durchleuchtungsmessung nicht korrekt funktionieren. Dies ist ein typisches Beispiel von Problemen bei der Erfassung biologischer Signale.

1.2 Probleme bei der Verarbeitung biologischer Signale

Wie bereits oben erwähnt, ist es die Unterscheidung zwischen Artefakt und tatsächlicher Veränderung des Systems und der damit (nicht-)auszulösende Alarm, der hier klinisch relevant ist. Bei der Artefarkterkennung gibt es eine Reihe von Forschungsvorhaben, die bereits zu einer deutlichen Verbesserung z. B. der Sättigungsmessung bei bestimmten Geräten geführt hat. Hierbei werden die erhobenen Signale durch verschiedene Filter gebündelt und fokussiert, so dass auch bei schlechter primärer Signalqualität eine adäquate Anzeige erreicht werden kann. Weiterhin sind physikalische Probleme sehr häufig für eine schlechte Signalqualität verantwortlich: Kabelbruch, verfettete oder verschmutzte Kontakte, Rost, Flüssigkeiten im Stecksystem, verbogene Kontakte, Biofilme von Bakterien sind in diesem Zusammenhang

erwähnenswert. Auch eine regelmäßige Eichung der Geräte und deren Dokumentation (s. Abb. 2), welche in der Regel durch die Medizintechnik durchgeführt wird, muss auf allen verwendeten Medizingeräten vorhanden sein.



Abb. 2 Offizielles Eichzeichen nach Maßgabe der physikalisch technischen Bundesanstalt (Physikalisch Technische Bundesanstalt, 2009)

Das Hauptproblem des klinischen Alltages ist jedoch, dass es zurzeit noch keine anerkannten Verfahren in Monitoren gibt, die eine „intelligente“ Fehlererfassung erlauben und danach die akustischen/visuellen Alarme steuern. In allen Monitoren werden einzelne vom Nutzer zu definierende Alarme genutzt, die einen starren Wert als Ober-/Untergrenze nutzen. Daher sollte für jede Abteilung ein fester Standard zur Einstellung von Alarmgrenzen entwickelt werden, um die Belastung des Personals durch unnötige Alarme einerseits zu minimieren, die Patientensicherheit andererseits jedoch nicht zu kompromittieren.

Weiterführende Literatur

R. Kramme (Hrsg.) Medizintechnik: Verfahren – Systeme – Informationsverarbeitung. 3. Auflage. 2007, Springer.

Aktuelle Webseiten

Physikalisch Technische Bundesanstalt. Kennzeichnung von Messgeräten, Braunschweig, 2009, last accessed 10.04.2010, http://www.ptb.de/de/org/q/q3/q31/data/nat-Stempel_de.pdf

Medizinproduktegesetz. <http://www.gesetze-im-internet.de/mpg/index.html>,
(als PDF: <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/mpg/gesamt.pdf>)

Medizinproduktebetrieiberverordnung: <http://www.gesetze-im-internet.de/mpbetreibv/index.html>
(als PDF: <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/mpbetreibv/gesamt.pdf>)

2 Katheter: Arten und Materialien

Die meisten invasiven Messverfahren sind nur mit liegenden intravasalen Kathetern (sei es arteriell oder venös) möglich. Daher soll hier auf einige Besonderheiten bei der Auswahl und Anlage im Allgemeinen eingegangen werden. Spezielle Bemerkungen finden sich im Kapitel zur Pulmonalarterienkathetermessung, invasiven Blutdruckmessung sowie bei der Diskussion des PiCCO®-Systems.

2.1 Zentral venöse Katheter

Zentrale venöse Katheter sind mit bis fünf Lumen erhältlich (s. Abb. 3). Dabei fließen die einzelnen Lumen innerhalb des Katheters nicht zusammen, sondern bleiben bis zur Spitze des Katheters isoliert.

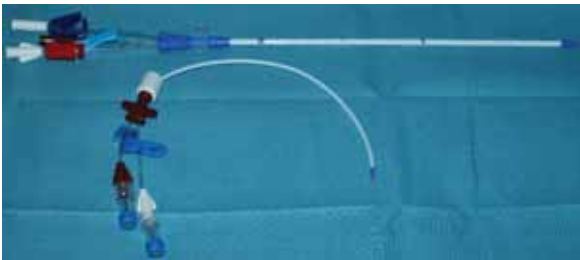


Abb. 3 Zentralvenöse Katheter

Infektionsprophylaxe

Die Anlage eines ZVK erfolgt unter sterilen Bedingungen, insbesondere sind steriler Kittel, Mundschutz und sterile Handschuhe zu fordern.

In großer Diskussion ist der Nutzen von imprägnierten Kathetern. Hier werden von der Industrie unterschiedlichste Modelle angeboten, am häufigsten sind Silber- oder Platinüberzüge, ebenso wie Antiseptika wie Chlorhexidin. Aber auch Antibiotika (Rifampicin ua.), sowie Heparin-überzogene Katheter sind erhältlich. Da die meisten Blutstrominfektionen auf der Intensivstation von Katheterinfektionen ausgehen, gibt es eine große Anzahl von Studien, die sich mit der Effektivität dieser Methodik auseinandersetzen. Eine abschließende Empfehlung für oder gegen diese Art von Katheter kann bei entgegengesetzten Ergebnissen zweier aktueller Metaanalysen nicht gegeben werden. Einen klaren Vorteil (auch im ökonomischen Sinne) scheint es bei immungeschwächten Patienten zu geben, die den Katheter nur 1–3 Wochen benötigen. Den Ort der Katheteranlage (femoral, subclavulär oder jugulär) spielt bei der geplanten Anlage in Hinblick auf Infektionen keine Rolle, wenn obige Kriterien (erfahrener Arzt, gewährleistete Sterilität, keine Notfallanlage und ultraschallgesteuerte Punktion) erfüllt sind. Grundsätzlich ist jedoch der Zugang über die V. subclavia und V. jugularis dem Zugang in die V. femoralis aufgrund praktischer Vorteile vorzuziehen.

Bei Patienten, die zentrale Zugänge für längere Zeit benötigen und bei denen eine Portanlage nicht in Frage kommt/gewünscht ist, sollte immer ein **getunnelter Zugang** gewählt werden. Dieser ist dem Standard-ZVK in der Infektionshäufigkeit deutlich überlegen.

Die Anlage des Katheters sollte unter **Ultraschallkontrolle** erfolgen, diese kann nachweislich die Komplikationsrate deutlich senken.

Die praktischen Hinweise zur Infektionsprophylaxe sind wie folgt zusammengefasst:

! Infektionsgefahr

Je weniger Lumen, desto besser, insbesondere ab 4 Lumen deutlicher Anstieg der Infektionsrate

Infektionsrate prinzipiell unabhängig vom Katheterort (femoral, subclavia, jugulär) bei geplanter Anlage unter maximal sterilen Bedingungen.

Anlage unter Ultraschallkontrolle!

Je eher der Katheter gezogen wird, desto besser!

Bei immunsupprimierten Patienten erscheint die Nutzung von antimikrobiell behandelten Kathetern sinnvoll und gerechtfertigt.

2.2 Arterielle Katheter

Arterielle Katheter werden ebenso wie venöse Katheter unter sterilen Bedingungen angelegt. Im Gegensatz zu venösen Kathetern wird hier in der Regel keine ultraschallgesteuerte Technik angewendet, sondern die **Punktion unter Tasten des arteriellen Pulses** ausgeführt.

Praktisch auffällig sind bei der Verwendung arterieller Katheter die unterschiedlichen **Seldinger-Drähte**. So ist der erst kürzlich geänderte Seldinger-Draht des PICCO-Systems erheblich knickresistenter als frühere Modelle, hingegen sind die Standardsysteme des femoralen Zuganges sehr robust. Bei der Anlage eines radialen arteriellen Zuganges wird häufig auch eine 20 G periphere Verweilkanüle in Direktpunktionstechnik benutzt. Zu beachten ist jedoch, dass diese Verweilkanülen primär nicht für diese Indikation entwickelt wurden und es keine Möglichkeit zur Nahtfixation gibt.

Die Infektionsrate arterieller Katheter ist deutlich geringer und spielt im klinischen Alltag eher eine untergeordnete Rolle. Die Indikation zum Wechsel eines arteriellen Zuganges ergibt sich durch fehlerhafte Messergebnisse z. B. durch Dämpfung etc. Details hierzu werden in Kapitel I 5.3 bei der invasiven Blutdruckmessung erläutert.

Literatur

- S. Carrer, A. Bocchi, M. Bortolotti, N. Braga, G. Gilli, M. Candini, S. Tartari, Effect of different sterile barrier precautions and central venous catheter dressing on the skin colonization around the insertion site. *Minerva Anesthesiol*, 2005. 71(5): p. 197–206.
- J. C. Hockenhull, K. Dwan, A. Boland, G. Smith, A. Bagust, Y. Dundar, C. Gamble, C. McLeod, T. Walley, R. Dickson, The clinical effectiveness and cost-effectiveness of central venous catheters treated with anti-infective agents in preventing bloodstream infections: a systematic review and economic evaluation. *Health Technol Assess*, 2008. 12(12): p. iii-iv, xi-xii, 1–154.
- B. S. Niel-Weise, T. Stijnen, P. J. van den Broek, Anti-infective-treated central venous catheters for total parenteral nutrition or chemotherapy: a systematic review. *J Hosp Infect*, 2008. 69(2): p. 114–23.
- A. G. Randolph, D. J. Cook, C. A. Gonzales, C. G. Pribble, Ultrasound guidance for placement of central venous catheters: a meta-analysis of the literature. *Crit Care Med*, 1996. 24(12): p. 2053–8.
- J. B. Weir, New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol*, 1949. 109(1–2): p. 1–9.

Aktuelle Webseiten

Video der Anlage eines zentralen Zuganges: <http://content.nejm.org/cgi/content/short/356/21/e21>

Video der Anlage eines arteriellen Zuganges:

http://content.nejm.org/cgi/content/video_preview/354/15/e13

3 Wichtige physiologische Grundlagen

Das Ziel aller hämodynamischer Parameterbestimmungen ist die Erfassung der Sauerstoffversorgung aller Zielgewebe des menschlichen Körpers. Da dieser Weg sehr komplex ist und es an vielen Stellen zu Beeinflussungen kommt, werden im Folgenden einzelne, gerade für das klinische Verständnis der Nutzung bestimmter Monitoringverfahren relevante Informationen aus der (Patho-)Physiologie nochmals zusammengestellt.

In diesem Kapitel wird insbesondere auf die kardiale Funktion, die Funktion der Gefäße und die des Blutes, sowie in geringerem Maße auch der Lunge eingegangen. Hierin liegen die Determinanten der oben genannten Sauerstoffversorgung des Gewebes.

3.1 Das Herz

Die wichtigsten zu monitorierenden Funktionen des Herzens, die Herzfrequenz und das Schlagvolumen, ergeben die zentrale Zielgröße für den Sauerstofftransport, das Herzzeitvolumen. Ist die Herzfrequenz einfach zu bestimmen (über Puls oder EKG- Elektroden), so liegt die Schwierigkeit bei der **HZV-Bestimmung** auf der Messung des Schlagvolumens. Hierzu werden unterschiedlichste Verfahren (s. Kap. II 1) verwendet, die entweder auf einer Thermo- oder Farbdilution, dem Fick'schen Gesetz, oder direkten Messmethoden wie der Echokardiographie bzw. Dopplerbestimmungen oder Impedanzmessungen basieren.

Beeinflusst wird das Schlagvolumen durch die Vorlast (und damit die Dehnung vor allem der Ventrikel), die Schlagkraft (Inotropie) und die Nachlast. Hier liegt auch die klinische Beeinflussbarkeit insbesondere durch positiv inotrope Substanzen (Adrenalin, Digitalis, Ca-Sensitizer etc.) und die entsprechende Füllung der Ventrikel, durch die adäquate Volumentherapie als auch durch evtl. Rhythmisierung der Vorhöfe oder Behebung von Klappenvitien.

Insbesondere die adäquate **Flüssigkeitstherapie**, die unter dem Begriff **Vorlast** („Preload“) zusammengefasst wird, ist ein entscheidender Baustein des Managements des kritisch kranken Patienten und damit natürlich auch besonderes Ziel des Monitorings. Grundlage für die besondere Volumenreagibilität des Herzens ist der Frank-Starling Mechanismus:

Er beschreibt die Zunahme des Schlagvolumens bei zunehmender (Vor-)füllung der Herzhöhlen in bestimmten Grenzen.

Durch Dehnung der Muskelwand des Herzens kommt es zu einer optimalen Überlagerung der Sarkolemm-Anteile und damit zu einer besseren Kraftentfaltung. Dies nimmt jedoch bei zunehmender Dehnung wieder ab, da sich die Aktiv-Myosinfilamente dann nur noch teilweise überlappen (s. Abb. 4). Ziel ist die optimale Überlagerung zu finden, bis heute ist hierzu jedoch kein Monitoringverfahren in der Lage, dies direkt darzustellen. Auch im Vergleich der Techniken der verschiedenen Monitoringverfahren ist immer die Frage nach dem eigentlichen Goldstandard zu stellen.

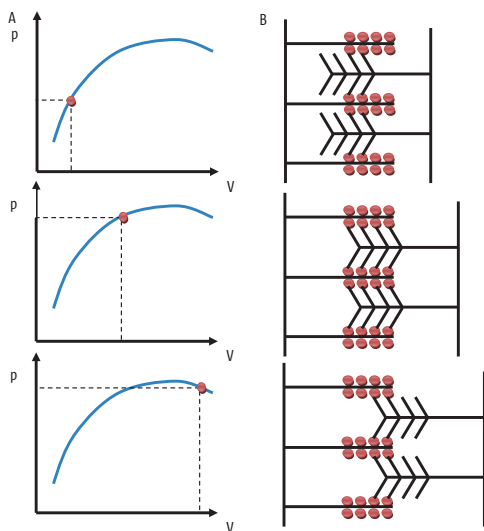


Abb. 4 Zusammenhang zwischen Vorlast und Schlagvolumen im Druck-Volumen-Diagramm (A) und im mikroskopischen Bereich (B)

Hier muss zwischen einer statischen und einer dynamischen Untersuchung unterschieden werden. Bei der statischen Untersuchung erscheint die direkte Visualisierung mittels Echokardiographie als der Goldstandard, in der dynamischen Messung (also der Entwicklung des Schlagvolumens über die Zeit) kann ein einzelnes Verfahren nicht als Goldstandard benannt werden.

Die Beeinflussung der Inotropie, also der Kraftentwicklung während der systolischen Kontraktion, wird in vielen Lehrbüchern und Veröffentlichungen ausreichend beschrieben. Zusammengefasst ist es vor allem der Einsatz verschiedenster Medikamente, die diesen Parameter akut direkt beeinflussen können.

3.2 Der Blutdruck

Über den Blutdruck per se, die Einzelheiten der Entstehung und der Aufrechterhaltung kann in jedem Physiologiebuch in großer Detailtreue nachgelesen werden. In diesem Abschnitt sollen die zentralen Punkte, die ja Grundlage des Monitorings sind, zusammengefasst werden:

Der Blutdruck (sowohl arteriell als auch pulmonal) fasst klinisch die Nachlast des Herzens also den Druck zusammen, der schließlich die Organperfusion gewährleistet. Hierbei sei zunächst erneut das Dilemma Druck vs. Volumen erwähnt, das in folgenden Kapiteln immer wieder thematisiert wird: Relativ einfach zu messen ist der Blutdruck, relevant für die Versorgung der Organe ist aber das transportierte (Blut-)Volumen (und damit der O_2).

3.2.1 Wie hängt also der Blutdruck mit dem transportierten Blutvolumen zusammen?

Zunächst betrachtet man (zur Vereinfachung) nur den Blutdruck in der Aorta bzw. in den großen arteriellen Gefäßen, in denen auch die invasive Blutdruckmessung stattfindet. Diese Gefäße stellen durch den Aufbau der Gefäßwand und ihre (beschränkte) Dehnbarkeit einen gewissen Widerstand dar, der dem Blutvolumen in der Austreibungsphase der Systole entgegensteht. Erneut (vereinfacht) zusammengefasst ist dies der systemvaskuläre Widerstand (SVR). Durch diesen Widerstand wird die Ausschüttung des Herzzeitvolumens begrenzt und ein Druck aufgebaut. Die dabei freigesetzte Energie wird durch die elastischen Fasern der Arterienwand gespeichert und sichert somit die Aufrechterhaltung eines (diastolischen) Druckes auch in der Füllungsphase des Herzens. Was hat dies aber mit dem Blutdruck zu tun? Der Gefäßtonus (sieht man von medikamentösen Eingriffen ab) ändert sich physiologisch nur in sehr geringem Maße (in kurzer Zeit), dadurch lässt sich nach dem Ohmschen Gesetz der Zusammenhang