

Kalibration eines Reflexions-Pulsoximeters

Faisst K., König V., Fanconi S.**, Schmid E.R.*, Huch A., Huch R.

Perinatalphysiologische Forschungsabteilung, Klinik und Poliklinik für Geburtshilfe und

*Institut für Anästhesiologie des Universitätsspital Zürich, CH-8091 Zürich,

**Intensivstation, Kinderspital Zürich, CH-8032-Zürich

EINLEITUNG:

Die Pulsoximetrie (POX) hat sich in wenigen Jahren in zahlreichen Disziplinen, insbesondere auf Intensivstationen und während der Anästhesie als Standardverfahren zur nicht-invasiven Überwachung der arteriellen Sauerstoffsättigung (SO₂) durchgesetzt. Die Pulsoximetrie ist in der Anwendung einfach, eine individuelle Eichung ist nicht erforderlich und die pulsoximetrisch gemessenen Werte stimmen in der Regel gut mit den arteriell gemessenen Sauerstoffsättigungswerten überein.

Das Prinzip der Pulsoximetrie beruht auf dem unterschiedlichen Absorptionsverhalten, das oxygeniertes und deoxygeniertes Hämoglobin in verschiedenen Wellenlängenbereichen aufweisen. Diese Tatsache dient zur photometrischen in-vitro Bestimmung der Sauerstoffsättigung an hämolysiertem Blut. Bei in-vivo Messungen tritt zusätzlich zur Absorption aber auch eine Schwächung des durchgehenden (Transmissions-Pulsoximetrie) oder reflektierten (Reflexions-Pulsoximetrie) Lichts durch Streuung auf.

Es gibt verschiedene Ansätze, diesen Einfluss der Streuung theoretisch zu erfassen (1). Aber nicht zuletzt wegen der nicht genau bekannten Streu-Koeffizienten, lassen sich keine quantitativ exakten Berechnungen angeben. Daher besteht die Notwendigkeit, Pulsoximeter empirisch zu kalibrieren. Da einerseits in normalen klinischen Anwendungen SO₂ <70% eher selten auftreten, andererseits mit Probanden Hypoxämien unter strenger ärztlicher Kontrolle nur >70% vertretbar erscheinen, werden kommerzielle Pulsoximeter nur im Bereich für SO₂ >70% an einem grossen Probanden-Kollektiv kalibriert (2). Im Manual dieser Geräte wird folglich darauf hingewiesen, dass Messungen bei Sättigungswerten von 70-100% zuverlässig und bei Sättigungen <70% unkontrolliert sind.

In der Perinatalphysiologischen Forschungsabteilung haben wir ein eigenes Reflexions-Pulsoximeter (RPOX) mit Sensoren, Elektronik und Computerprogramme entwickelt, um während der Geburt am vorangehenden Teil des Feten messen zu können (3-5). Die fetale Sauerstoffsättigung in utero ist mit Werten <70% physiologisch niedrig. Daher ist für unser System die empirische Kalibration der Auswertalgorithmen an einem Normalkollektiv nicht ausreichend (6). Es müssen vielmehr auch Patienten berücksichtigt werden, bei denen krankheitsbedingt niedrige Sättigungswerte vorliegen und ein Zugang zu arteriellen Gefässen eine spektrophotometrische Sauerstoffbestimmung ermöglicht. Diese Situation ist bei Kindern mit zyanotischen Hervitien auf der Intensivstation oder vor der operativen Korrektur des Vitiums gegeben.

METHODE:

Der Sensor unseres Reflexions-Pulsoximeters hat einen Durchmesser von 21mm. Die Hülle besteht aus weichem flexiblen Silikongummi. Die Fixierung erfolgt atraumatisch mit Vakuum mit einem durchschnittlichen Unterdruck von 100mbar (maximal 300mbar). Aufgrund der Kombination aus weichem Hüllmaterial und Vakuumfixierung weist der Sensor eine gute Anpassung an die Untersuchungsstelle auf. Im Zentrum des Sensors befinden sich 2 Leuchtdioden, die rotes (660 nm) und infrarotes (920 nm) Licht emittieren. Auf einem äusseren Durchmesser von 17mm sind 6 Photodioden angeordnet. Auf einem Computerbildschirm werden die mit Reflexions-Pulsoximetrie gemessenen Sauerstoffsättigungswerte >20% und die Herzfrequenz kontinuierlich dargestellt. Zusätzliche Werte (Herzfrequenz und Tokogramm gemessen mit Kardiotokographie, oder wahlweise Sauerstoffsättigung und Herzfrequenz gemessen mit Transmissions-Pulsoximetrie) können bei Bedarf zusätzlich eingelesen und angezeigt werden. Während der Messung werden die pulsatilen Signale für rotes und infrarotes Licht kontinuierlich dargestellt, so dass der Untersucher die Signalqualität überprüfen kann. Treten Artefakte auf, können diese markiert werden. Ein Auswerteprogramm bietet die Möglichkeit retrospektiv Messabschnitte auszuwählen, über die dann die mittlere Sauerstoffsättigung und die Mittelwerte der anderen eingelesenen Messgrössen berechnet werden. Die vom Untersucher während der Untersuchung als nicht verwertbare Messung gekennzeichneten Bereiche werden dabei automatisch nicht berücksichtigt.

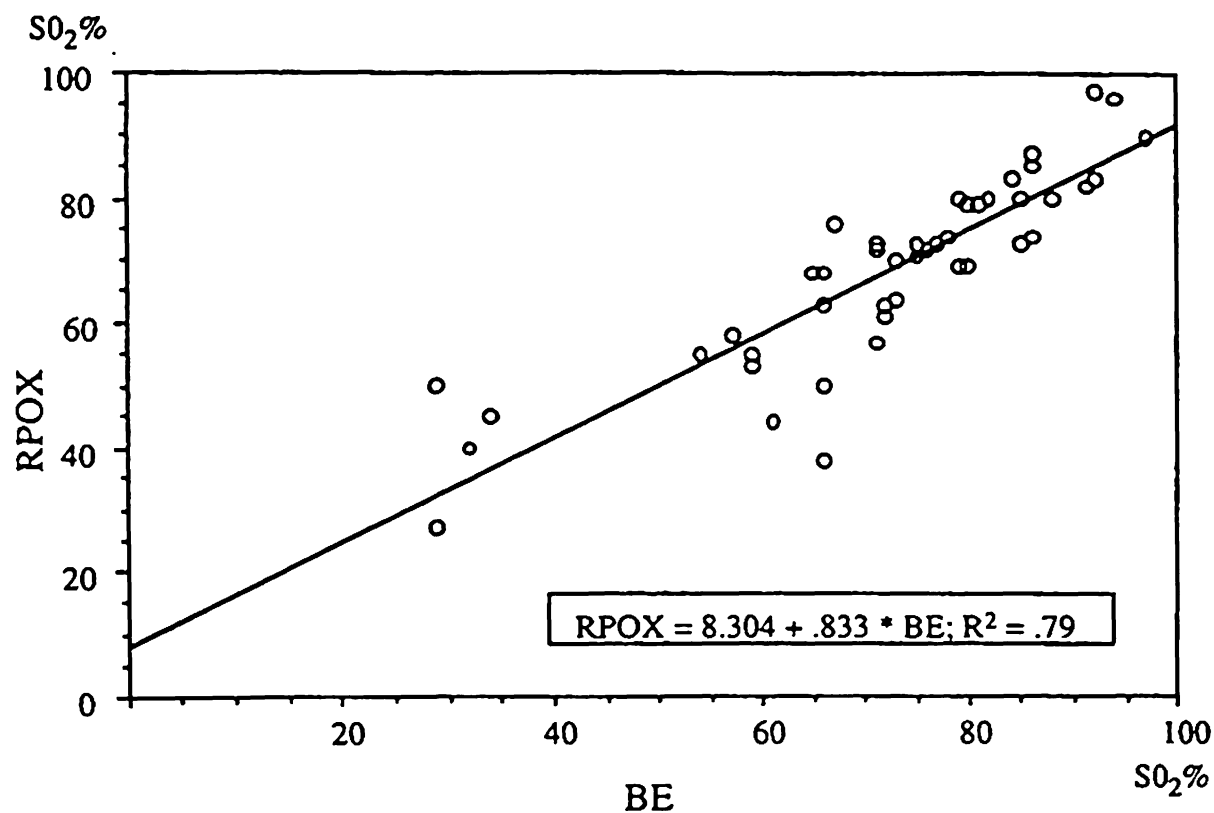
Im Rahmen einer laufenden Studie wurden auf der Intensivstation des Kinderspitals Zürich und während den anästhesiologischen Vorbereitungen für eine Herzoperation am Universitätsspital Zürich bei 28 Kindern mit zyanotischem Herzvitium und Zugang zu einem arteriellen Gefäss die arterielle Sauerstoffsättigung mit Reflexions- und Transmissions-Pulsoximetrie kontinuierlich gemessen. Intermittierend erfolgte mindestens eine arterielle Blutentnahme (BE), deren Sauerstoffsättigung spektrophotometrisch im CO-Oximeter (OSM₂ Hemoximeter, Radiometer Copenhagen) bestimmt wurde.

ERGEBNISSE:

Bei 28 Kindern erfolgten insgesamt 44 arterielle Blutentnahmen (1-4 BE pro Kind). Die spektrophotometrisch gemessenen arteriellen SO₂-Werte lagen in einem Bereich von 29-97% mit einem mittleren SO₂-Wert von 71.1% und einer Standardabweichung von

± 17.6 . Die zum Vergleich verwendeten RPOX-Werte wurden bestimmt als Mittelwerte über die Zeit von 1 Minute vor bis 1 Minute nach der arteriellen Blutentnahme und lagen in einem Bereich von 27-97% mit einem mittleren SO_2 -Wert von 67.5% und einer Standardabweichung von ± 16.5 . In Abb. 1 sind die RPOX-Werte als Funktion der arteriellen Sättigung zusammen mit einer Regressionsgeraden dargestellt.

Abbildung 1: Gegenüberstellung von Sauerstoffsättigungswerten (SO_2) gemessen in arteriellen Blutentnahmen (BE) und Werten gemessen mit der Reflexions-Pulsoximetrie (RPOX)



DISKUSSION:

Bei Erwachsenen und Neugeborenen sind SO_2 -Werte $< 70\%$ ein seltenes Ereignis. Im Gegensatz dazu zeigen erste Ergebnisse der intrapartalen pulsoximetrischen Überwachung des Feten während der Geburt einen SO_2 -Normalbereich zwischen 25-68% (nicht veröffentlichte Daten). Daher müssen vor einem routinemässigen Einsatz der Pulsoximetrie zur Überwachung des Feten während der Geburt u.a. weitere Anstrengungen unternommen werden, das Pulsoximeter für diesen Bereich zuverlässig zu kalibrieren.

Die Möglichkeiten ein Pulsoximeter für SO_2 -Werte $< 70\%$ zu kalibrieren sind limitiert. Kalibrationskoeffizienten ermittelt in Tierversuchen sind für humane Anwendung nur eingeschränkt übertragbar. Versuche einer in-vitro Kalibration mit einem "Puls-Simulator", d.h. einem künstlichen pulsatilen Kreislauf von nicht hämolysiertem Blut, haben bisher noch zu keinen befriedigenden Ergebnissen geführt (6,7). In dieser Studie konnten arterielle SO_2 -Werte von 30-90% spektrophotometrisch gemessen und mit den gleichzeitigen Messungen unseres Reflexions-Pulsoximeters verglichen werden. Dies ergab eine vorläufige gute Übereinstimmung unserer bisher verwendeten Kalibration mit den arteriellen Werten.

LITERATUR:

- 1) Graaff R. Tissue Optics Applied to Reflectance Pulse Oximetry. (thesis). Groningen (NL): Rijksuniversiteit Groningen, 1993.
- 2) Kelleher JF. Pulse oximetry. J Clin Monit 1989;5:37-62.
- 3) König V, Ullrich GJ, Faisst K, Jørgensen JS, Huch R, Huch A. Reflexions-Pulsoximetrie-Untersuchungen mit eigenem Mess-System. Biomedizinische Technik 1992;37:39-40.
- 4) Faisst K, König V, Jørgensen JS, Huch A, Huch R. Erfahrungen bei der Messung der Sauerstoffsättigung mittels eines eigenen Reflexions-Pulsoximetrie-Systems bei Erwachsenen und Neugeborenen sowie bei ersten Messungen während der Geburt. In: Hypoxische Gefährdung des Fetus sub partu (R. Knitza, ed.) Steinkopff, Darmstadt, Germany 233-238.
- 5) Faisst K, Hannon W, Jørgensen JS, König V, Bucher HU, Huch A, Huch R. (1995) Reflectance pulse oximetry in neonates. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol 61, 117-122.
- 6) König V, Huch R, Huch A. Wie kann ein Pulsoximeter kalibriert werden? In: Hypoxische Gefährdung des Fetus sub partu (R. Knitza, ed.) Steinkopff, Darmstadt, Germany 111-116.
- 7) Yount JE. Practical aspects of calibrating fetal pulse oximetry. In: Hypoxische Gefährdung des Fetus sub partu (R. Knitza, ed.) Steinkopff, Darmstadt, Germany 45-81.