

Untersuchungen über die Blutflußabhängigkeit des transcutanen Sauerstoffpartialdruckes

Steinacker, J. M. (Ulm), Spittelmeister, W., Wodick, R. E., Fallenstein, F., Lübbers, D. W.

Abteilung für angewandte Physiologie und Labor für Perinatalphysiologie, Ulm, Klinik für Geburtshilfe, Universitätsspital Zürich und Max-Planck-Institut für Systemphysiologie, Dortmund

Die transcutane Meßmethode des po_2 erlaubt eine Verlaufsbeobachtung arterieller Sauerstoffpartialdruckwerte durch eine auf die hyperämisierte Haut aufgesetzte polarographische Elektrode. Bei niedrigem Blutfluß übersteigt der Sauerstoffverbrauch von Haut und Elektrode den O_2 -Antransport mit dem Blut, somit ist der transcutan gemessene po_2 ($tcpo_2$) niedrig. Die Heizung der Elektrode (Methode nach Huch, Lübbers und Huch) bewirkt eine kontrollierte, excessive Hyperämie im Gefäßgebiet des stratum papillare der Haut. dadurch überwiegt der O_2 -Antransport den Verbrauch. Der $tcpo_2$ nähert sich somit in Abhängigkeit von der Durchblutung asymptotisch dem arteriellen po_2 . Dies wird nach D.W.Lübbers als "Circulatorische Hyperbel" zur Erklärung der Durchblutungsabhängigkeit des $tcpo_2$ benannt.

Mit dieser Methode werden erfolgreich Messungen des arteriellen po_2 in der Kinderheilkunde durchgeführt. Beim Erwachsenen ist das Verhältnis arterieller po_2 (p_aO_2) zu transcutaner po_2 ($tcpo_2$) geringer als bei Kindern, da die Haut geringer kapillarisiert ist und eine größere Dicke aufweist. Die Durchblutungsabhängigkeit des $tcpo_2$ sollte hier weiter untersucht werden, wobei die Durchblutung mit anderen Meßmethoden zusätzlich bestimmt werden sollte.

Methodik:

Der $tcpo_2$ wird mit einer modifizierten Clark-Elektrode bei $45^\circ C$ ($15\mu m$ Platin-Kathode, $25\mu m$ Teflonmembran), die auf die Haut des Unterarms gesetzt ist, bei 19 gesunden, männlichen Probanden kontinuierlich verfolgt. Nach dem Aufsetzen der Elektrode und einer Anheizzeit von 25 Minuten werden die Messungen in Ruhe und unter Durchblutungseinschränkung durchgeführt. Dazu wird mit einer Oberarmblutdruckmanschette der systemische Blutdruck nach Riva-Rocchi und Korotkow bestimmt und am Meßarm mit einer weiteren Oberarmmanschette ein Staudruck in für jeden Probanden gleichen Prozentanteilen des systolischen Blutdruckes (15-, 30-, 45-, 60-, 80-, 90-, 100%) eingestellt. Die Stauung wird nach Erreichen eines steady-state-Zustandes (etwa 5-6min) gelöst, um wieder Normalbedingungen zu erreichen. Aus dem steady-state wird dann die nächst höhere Stauung

durchgeführt. Der venöse Blutdruck im Arm ist im steady-state gleich dem Staudruck. Somit ist der effektive Perfusionsdruck die Differenz aus systolischem Blutdruck und Staudruck. Nach Erreichen eines steady-state werden capilläre Vergleichsproben aus dem hyperämisierten Ohrläppchen entnommen, Sauerstoff wird intermittierend über eine Nasensonde gegeben.

Der $tcpo_2$ und die zur Hyperemisierung und Thermostatisierung der Meßstelle notwendige Heizleistung werden gleichzeitig registriert. Der Mittelfinger der selben Hand wird im Wasserbad auf $45^\circ C$ erwärmt. Der Blutfluß in der Fingerbeere wird mit einer bidirektionalen 8MHz-Ultraschallsonde im steady-state dopplersonographisch gemessen und die Vorfluß- und die Rückflußgeschwindigkeit sowie eine Summenkurve aus Vor- und Rückfluß aufgezeichnet. Bei einem Summenfluß von Null werden 5 Pulskurven planimetrisch ausgemessen und der Mittelwert der Flächen als relative Durchblutungseinheit betrachtet.

Ergebnisse und Diskussion:

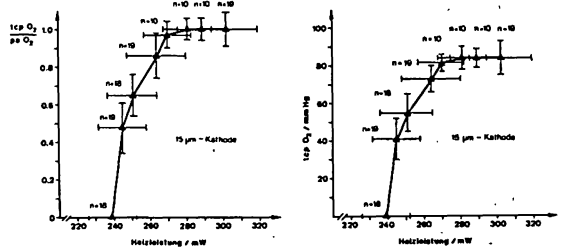


Abb.1: $tcpo_2$ (links) und transcutaner Index $tcpo_2/p_aO_2$ (rechts) gegen die Heizleistung der Elektrode bei $45^\circ C$ bei Einschränkung der Durchblutung auf verschiedenen Stautufen (Mittelwerte \pm Standardabweichungen).

Die transcutanen po_2 -Werte und der transcutane Index $tcpo_2/p_aO_2$ für die verschiedenen Stufen der Perfusionseinschränkung sind in Abb.1 gegen die Heizleistung aufgetragen. Unter Normalbedingungen

wird bei den Probanden ein p_{O_2} von 86,0 ($\pm 6,2$) Torr bestimmt, der transcutane Index beträgt unter Normalbedingungen 1.01 ($\pm 0,08$) Torr und zeigt wie der tcp_{O_2} einen Abfall erst bei stärkerer Abnahme der Durchblutung. Mit der Heizung der Elektrode wird die Temperatur auf 45° geregelt. Die Heizleistung der Elektrode zeigt deswegen bei Änderung des Blutflusses die veränderte Wärmeclearance im Meßgebiet proportional zum Blutfluß an. Die lineare Beziehung zum Perfusionsdruck ist in Abb.2 dargestellt.

In Abb.3 sind Meßergebnisse für den Versuch zusammengefasst. Die relative Heizleistung wurde so bestimmt, daß der Wert bei übersystolischem Stau und damit aufgehobener Durchblutung als Basiswert von den übrigen Werten bei Durchblutung subtrahiert wurde. Die Heizleistung und der planimetrisch ermittelte Dopplerfluß als Parameter der Kapillardurchblutung zeigen eine lineare Abhängigkeit vom Perfusionsdruck. Dies zeigt gleichzeitig, daß die Autoregulation in den hyperämisierten Gefäßgebieten aufgehoben ist und keine Veränderungen des Kapillarquerschnittes erfolgen. Erst wenn der Perfusionsdruck allein die Durchblutung im Meßgebiet bestimmt, kann der p_{O_2} transcutan zuverlässig gemessen werden, wie dies hier gezeigt ist. Beide Flußsignale, Heizleistung und Dopplerdruck, zeigen eine große Streuung, die bei der Heizleistung hauptsächlich durch die Gewebeschaffenheit und Umwelteinflüsse bedingt ist. Das Dopplersignal ist für jeden Probanden unterschiedlich groß, da der Anstrahlwinkel der Kapillaren immer etwas verschieden ist.

Das transcutane Meßsignal zeigt deutlich die im Modell der "Circulatorischen Hyperbel" postulierte Abhängigkeit von der Durchblutung. Bei leicht eingeschränktem Blutfluß sinkt der tcp_{O_2} nur gering, bei stärkerer Einschränkung der Perfusion findet sich dann ein Abfall des p_{O_2} . Die Streuung des tcp_{O_2} ist dabei geringer als die der anderen Flußparameter (Abb.3).

Somit erlaubt die Höhe des tcp_{O_2} eine Aussage über die Perfusion im Meßgebiet an dem "Probeorgan" Haut. Dabei hilft die gleichzeitige Registrierung der Heizleistung bei fortlaufenden Messungen. Wenn ein Absinken des p_{O_2} von einer Abnahme der Heizleistung begleitet ist, wird die Perfusion vermindert sein. Wenn die Heizleistung sich nicht verändert, obwohl der tcp_{O_2} absinkt, werden Veränderungen des $p_{a_{O_2}}$ wiederspiegelt.

In den Abb.4 und 5 sind Versuche bei Hyperoxie dargestellt. Dabei ergibt die Bestimmung des transcutanen Index eine bessere Differenzierung der Durchblutungssituation. Somit sollte bei unterschiedlichen p_{O_2} -Ausgangswerten der $p_{a_{O_2}}$ bekannt sein. Die Bestimmung des tcp_{O_2} und insbesondere des transcutanen Index bei Hyperoxie ergibt eine verbesserte Aussage über die Durchblutung der Meßstelle.

Literatur:

- 1.) Huch R, DW Lübbers, A Huch: Quantitative continuous measurement of partial oxygen pressure on the skin of adults and newborn babies. Pflügers Arch 337 185-198 (1972)
- 2.) Huch R, A Huch, DW Lübbers: Transcutaneous p_{O_2} . Thieme, Stuttgart New York 1983
- 3.) Steinacker JM: Die transcutane Messung des arteriellen Sauerstoffdruckes, die Sauerstoffaufnahme und der Sauerstofftransport bei Belastung. Inaug.dissertation Ulm 1984

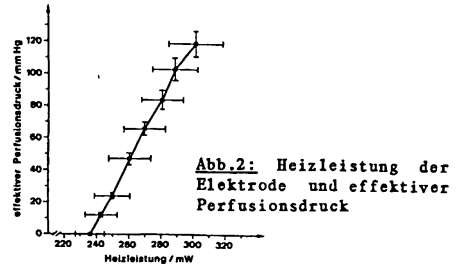


Abb.2: Heizleistung der Elektrode und effektiver Perfusionsdruck

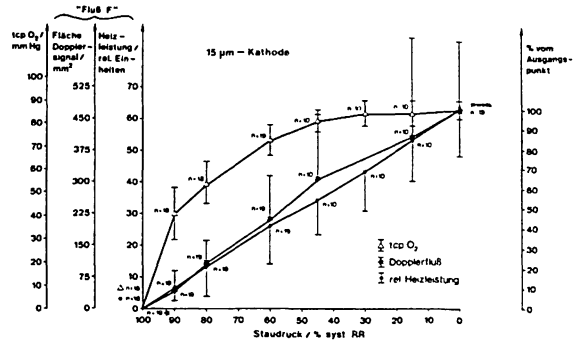


Abb.3: Abhängigkeit des transcutanen p_{O_2} , tcp_{O_2} , der relativen Heizleistung der Elektrode bei 45°C und der planimetrierten Fläche des Dopplersignals als Kapillarfluß in der hyperämisierten Fingerbeere von der Einschränkung des Perfusionsdruckes als Staudruck in prozentalem Anteil des systolischen Blutdruckes.

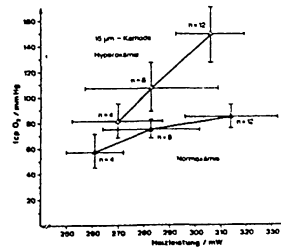


Abb.4: tcp_{O_2} und Heizleistung bei Hyperoxie

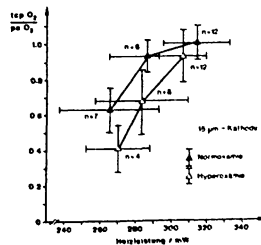


Abb.5: Transcutaner Index und Heizleistung bei Hyperoxie

(Diese Untersuchungen wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Projekt Wo 310/1-2) gefördert)