

Optische tcpO_2 Messung

Provokation mit Sauerstoff

zur Bestimmung der Wundheilungsprognose beim Diabetischen Fuß.

Reinhard Ostarek
01.09.2017

1. transkutane Messung des pO_2

---> Die transkutane Sauerstoffpartialdruckmessung ist ein nichtinvasives Verfahren zur Bestimmung des Sauerstoffpartialdrucks (pO_2) an der Hautoberfläche sowie zur indirekten Messung des systemischen arteriellen pO_2 . Er gilt mittlerweile als der „Golden Standard“ bei der Indikationsstellung zwischen operativen und konservativen Therapieverfahren bei chronischen Wunden.

---> Ursprünglich wurde die transkutane Sauerstoffpartialdruckmessung zur nichtinvasiven Blutgasüberwachung in der Neonatologie entwickelt. In den letzten Jahren hat sich das Einsatzspektrum dieser Methode zunehmend ausgeweitet, so z.B. bei Untersuchungen der peripheren arteriellen Verschlusskrankheit und der chronischen Veneninsuffizienz.

---> Einsatzgebiete sind:

- medikamentöse Verlaufskontrolle
- PAVK
- Festlegung der Amputationshöhe
- chronische Veneninsuffizienz
- Diabetes mellitus
- Wundheilungsverläufe
- Raynaud Syndrom
- Diagnose kritischer Ischämie
- Diabetischer Fuß-Syndrom
- Rückenmarksstimulation
- Hyperbare Sauerstofftherapie
- Beurteilung von Vasodilatoren
- Sklerodomie
- Hautentzündungen

---> Eine in jeder Klinik etablierte Anwendung ist die transkutane Messung des Sauerstoffpartialdruckes zur Abschätzung des Amputationsrisikos. Die kritische Ischämie ist als $tcpO_2$ -Wert < 30 mmHg beim liegenden Patient definiert. Bei $tcpO_2$ -Werten < 10 mmHg beträgt das Amputationsrisiko 70%. ⁽¹⁾Dabei besitzt der alleinige Ruhe- $tcpO_2$ Wert nicht genügend Aussagekraft. Erst durch die diagnostische Sauerstoffinhalation über eine O_2 -Maske und den dabei zu registrierenden $tcpO_2$ -Anstieg lässt sich mit einer Treffsicherheit von 95 % die Wundheilungswahrscheinlichkeit prognostizieren.

---> Durch die kostengünstige Anschaffung und die niedrigen laufenden Kosten der neuen Gerätegeneration mit optischer Messmethode gehen viele Kliniken dazu über, die $tcpO_2$ -Messung obligatorisch bei jedem Neuzugang mit diagnostizierter Diabetes oder AVK durchzuführen.

---> Zur Früherkennung kann diese einfache und schnell durchzuführende Messung bei jedem Klinikbesuch Aufschluss über die sich im Laufe der Zeit verändernde Durchblutungssituation geben. So können schon frühzeitig geeignete Therapiemaßnahmen eingeleitet und deren Erfolg kontrolliert werden.

---> Bei konsequenter Anwendung der $tcpO_2$ -Messung in der Prävention können hohe Beträge für Medikamente, Wundbehandlungen oder Amputationen eingespart werden.

(1) Ulrich K. Franzeck **Transkutaner Sauerstoffpartialdruck in der klinischen Mikrozirkulation** 6.2.3 Absatz 5

1. Vorhersage der Wundheilungswahrscheinlichkeit durch Sauerstoffprovokation



---> Zur Vorhersage über die Wundheilungswahrscheinlichkeit wird ein Provokationsmanöver durch die Gabe von 100% Sauerstoff durchgeführt.

- Erster Messwert in Wundnähe

- **liegend**



---> 10 Minuten Inhalation von 100% Sauerstoff

- Zweiter Messwert in Wundnähe

- **liegend**

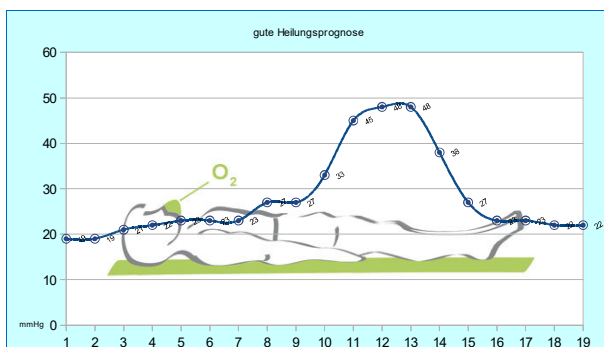
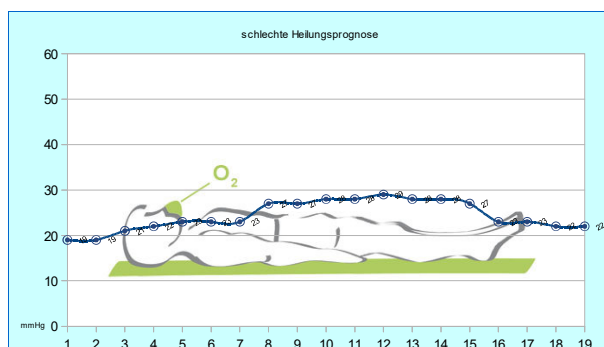


Tabelle 1 + 2

---> tcpO₂ Anstieg in Wundnähe

> 10 mmHg - günstige Heilungsprognose

< 10 mmHg - ungünstige Heilungsprognose



Beispiel:

---> Messwert in Wundnähe ≤ 20 mmHg

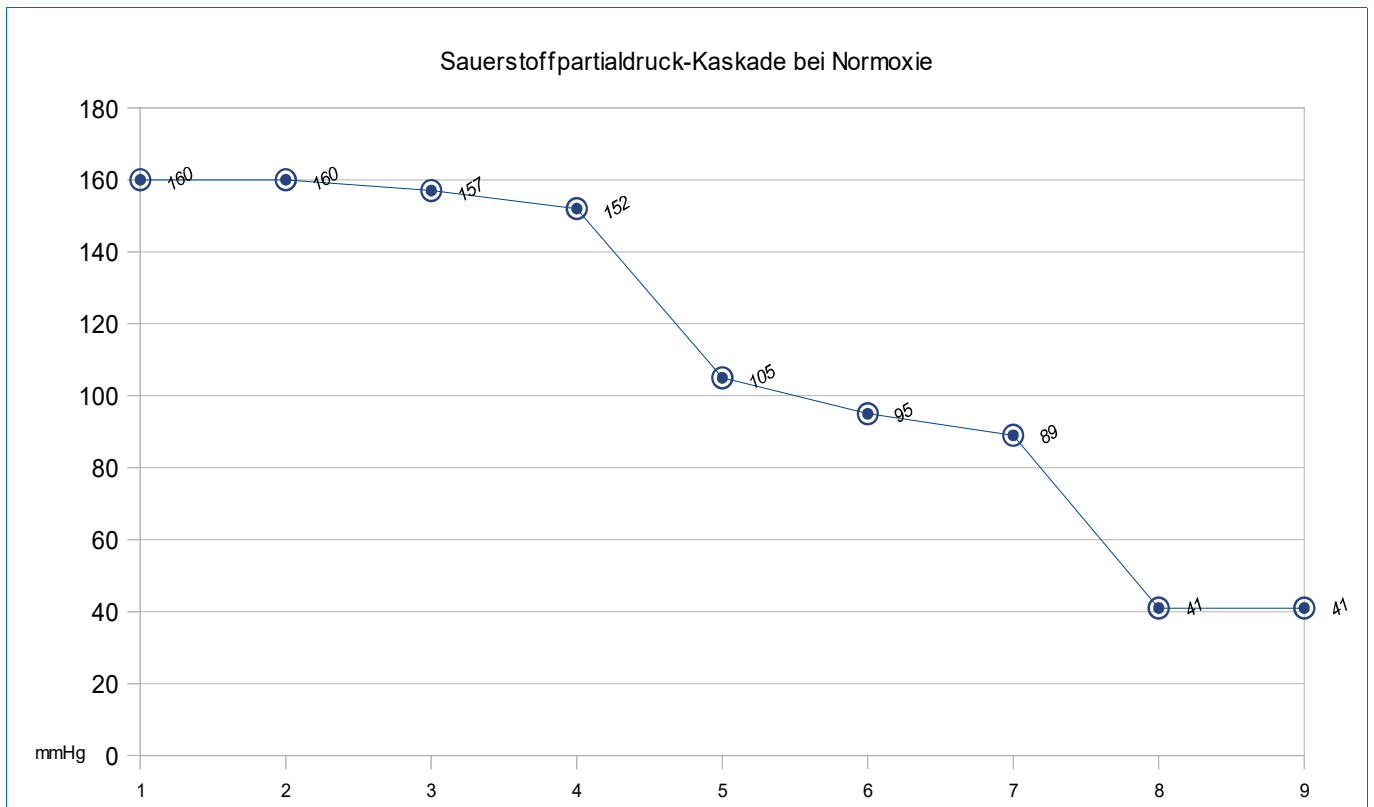
- Anstieg bei O₂-Inhalation auf >30 mmHg
→ günstige Heilungsprognose

- Anstieg bei O₂-Inhalation auf <25 mmHg
→ ungünstige Heilungsprognose

---> Die Provokation durch Inhalation von 100 % reinem Sauerstoff ermöglicht eine hervorragende Voraussage über mögliche Heilungsreserven im Gewebe.

---> Dabei gilt: Je höher der Anstieg des tcpO₂ unter Inhalation, um so seltener wird eine Amputation nötig. Bzw. um so größer ist die Wundheilungswahrscheinlichkeit nach einer Amputation.

2. Die Sauerstoffkaskade bei Normalluft - 21% O₂



Der Weg des Sauerstoffes von der Atmosphäre in die Mitochondrien bei 21 % Luftsauerstoff.

Normal Null	Atemluft	Rachenraum	Lunge	Alveole	Alveolkapillare	Arteriell Ende Gewebekapillare	Venöses Ende Gewebekapillare
mm/Hg	160	157	152	105	95	89	41

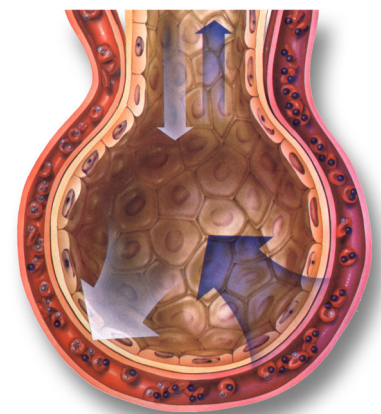
Auf Meereshöhe herrscht bei schönem Wetter ein Sauerstoffpartialdruck von z.B. 160 mmHg.

In der inhaleden Luft reduziert sich im Rachenraum der Sauerstoffpartialdruck durch Anfeuchten (höhere Wasserdampfanteil) auf ~157 mmHg.

In der Lunge verringert sich der Sauerstoffpartialdruck weiter auf ~152 mmHg. Weiterer Anstieg des Wasserdampfanteils.

In den Alveolen (kleinste Lungenbläschen) herrscht ein Sauerstoffpartialdruck von nur noch ~105 mmHg. Ab hier diffundiert der Sauerstoff entlang des Partialdruckgefälles in die Alveolkapillaren. In den venösen Enden der Alveolkapillaren herrscht ein niedrigerer Sauerstoffpartialdruck als in den Alveolen. Es diffundiert so lange Sauerstoff in die Alveolkapillaren, bis eine Ausgewogenheit erreicht ist.

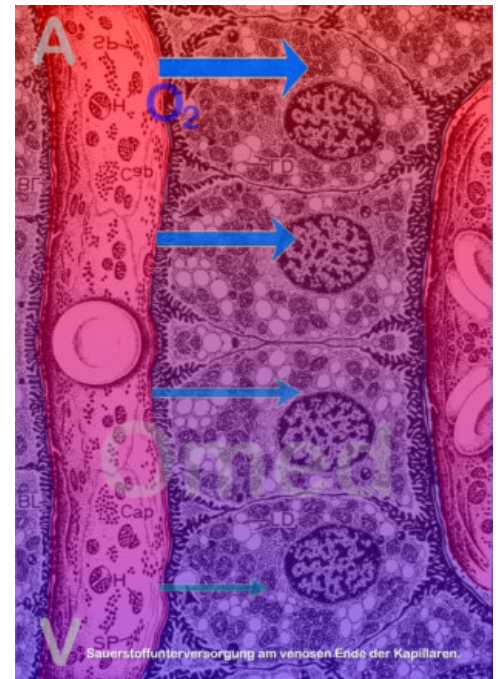
In den Alveolkapillaren befindet sich der Sauerstoff zunächst in physikalisch gelöster Form. Erst, wenn der Anteil des physikalisch gelösten Sauerstoffes in den Alveolkapillaren ansteigt (> 2%), geht der Sauerstoff eine chemische Verbindung mit dem in den roten Blutkörperchen befindlichen Hämoglobin ein. Nach dieser Arterialisierung des Blutes am arteriellen Ende der Alveolkapillaren liegt der Sauerstoffpartialdruck bei ~95 mmHg.



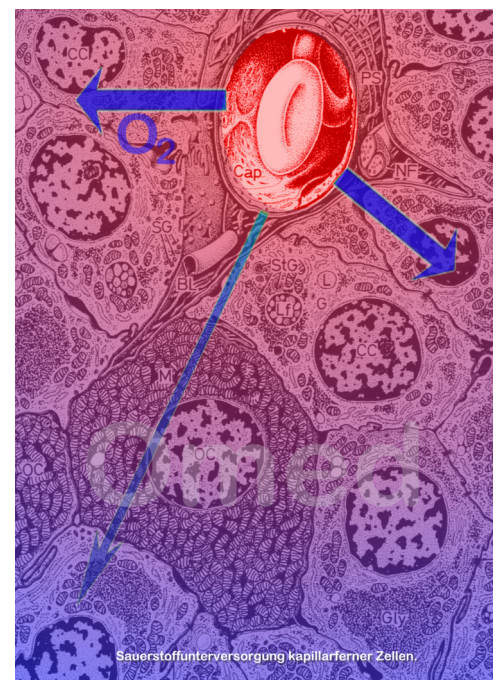
Mit dem Blutstrom gelangt der Sauerstoff in die KapillargefäÙe des Gewebes. Am arteriellen Ende der KapillargefäÙe beträÙt der Sauerstoffpartialdruck noch ~89 mmHg. Der Sauerstoffpartialdruck misst nur den physikalisch gelösten Anteil des Sauerstoffes im Blut. Nur der physikalisch gelöste Sauerstoff kann in die Zellen diffundieren.

In den Mitochondrien der kapillargefäÙnahen Zellen wird der Sauerstoff verbraucht. Der Sauerstoffpartialdruck in der Zelle sinkt ab. Der physikalisch gelöste Sauerstoff diffundiert entlang des Partialdruckgefälles in die Zelle. Dabei stimmt der Sauerstoffpartialdruck der Zelle mit dem der Mitochondrien überein. Der physikalisch gelöste Sauerstoff im Kapillarblut sinkt ab. Der chemisch im Hämoglobin gebundene Sauerstoff löst sich ab und befindet sich dann in gelöster Form im Blut. Sauerstoff diffundiert entlang des Gefälles in die Zelle. u.s.w.

Am venösen Ende des KapillargefäÙes herrscht noch ein Sauerstoffpartialdruck von ~41 mmHg. Das venöse Blut fließt zu den Alveolkapillaren und wird dort wieder arterialisiert.



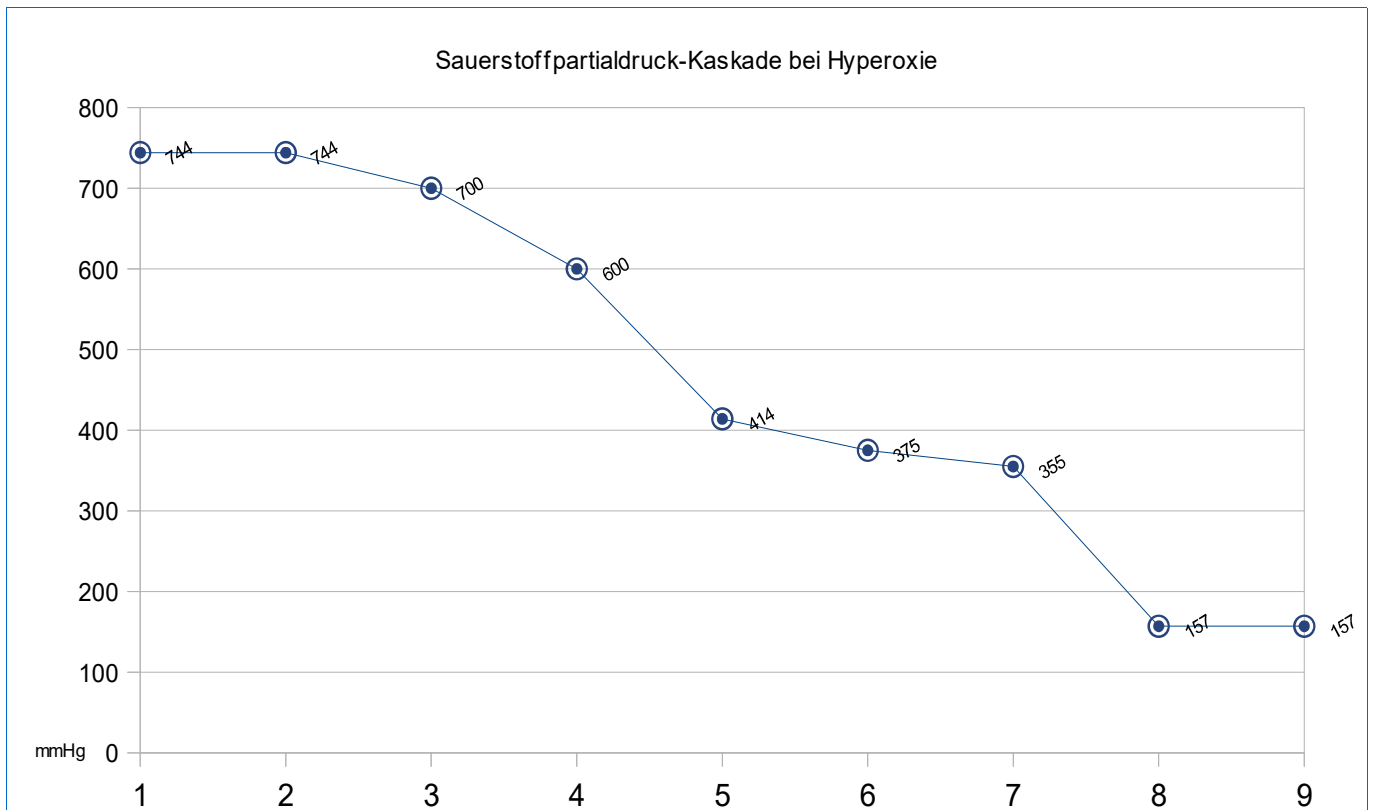
Die Sauerstoffversorgung der kapillargefäÙfernen Zellen sieht ungünstiger aus. Diese erhalten entsprechend dem Partialdruckgefälle weniger Sauerstoff als die kapillargefäÙnahen Zellen. Im ungünstigsten Fall erhalten sie keinen Sauerstoff mehr. (Letzte Wiese)



---> Diese Sauerstoffkaskade stimmt bei gesundem Gewebe.

---> Bei erkranktem Gewebe kann der Sauerstoffpartialdruck auch bei kapillargefäÙnahen Zellen unter 10 mmHg absinken.

3. Wie reagiert die Mikrozirkulation auf die Gabe von Sauerstoff?



Der Weg des Sauerstoffes von der Atmosphäre in die Mitochondrien bei 100 % Luftsauerstoff.

Normal Null	Atemluft	Rachenraum	Lunge	Alveole	Alveolkapillare	Arteriellendes Gewebekapillare	Venöses Ende Gewebekapillare
mm/Hg	744	700	600	414	375	365	157

Unter Inhalation von 100 % Sauerstoff steigt der Sauerstoffpartialdruck in der Atemluft auf z.B. 744 mmHg.

Der Anteil des physikalisch im Blut gelösten Sauerstoffes steigt an. Da es sich hier um eine Prinzipdarstellung handelt wird der Anteil am Wasserstoff in der Inhalationsluft vernachlässigt.

Entsprechend der Sauerstoffpartialdruck-Kaskade von der Inhalationsluft zur Zelle muss unter Inhalation von reinem Sauerstoff der mit dem tcpO₂-Messgerät gemessene Wert im Gewebe in Wundnähe ansteigen.

---> Steigt der Wert um deutlich mehr als 10 mmHg - günstige Wundheilungsprognose.

---> Steigt der Messwert um weniger als 10 mmHg - ungünstige Wundheilungsprognose.