

Klinische Bedeutung des O2C

Nachfolgend werden primär klinische Anwendungsfelder des O2C besprochen, bei denen die Haut und deren Regeneration (Wundheilung) im Vordergrund stehen. Prinzipiell findet das O2C jedoch auch in anderen chirurgischen Fächern, der Anästhesie, Intensivmedizin und Sportmedizin Anwendung.

Untersuchungen mit dem O2C bei peripheren Gefäßkrankheiten (arterielle Verschlusskrankheit, chronisch venöse Insuffizienz (CVI), diabetisches Fußsyndrom, Morbus Raynaud) sollten an Messstellen an den Fingerunterseiten oder an den Zehenunterseiten durchgeführt werden. Die Messung an den Akren zeigt die Sauerstoffversorgung in der letzten Wiese. Baselinemessungen sollten in physiologischer Ruhe (<10min liegen, Ruhe, Raumtemperatur, entspannte Atmosphäre) und im Liegen durchgeführt werden. Wenn das O2C in dieser Lage keine kritischen Werte anzeigt, ist das Gewebe zumindest in Ruhelage ausreichend versorgt. Dies bedeutet jedoch nicht, daß das Gewebe auch unter kritischen Umständen (Orthostase, Bewegung, Hochlagerung, etc.) hinreichend gut versorgt wird.

Typische Normalwerte, die mit dem O2C zu erwarten sind, sieht man in Abbildung 8.

Prinzipiell ist die unbehaarte Haut viel stärker von sympathisch bedingten Schwankungen betroffen als die behaarte Haut.

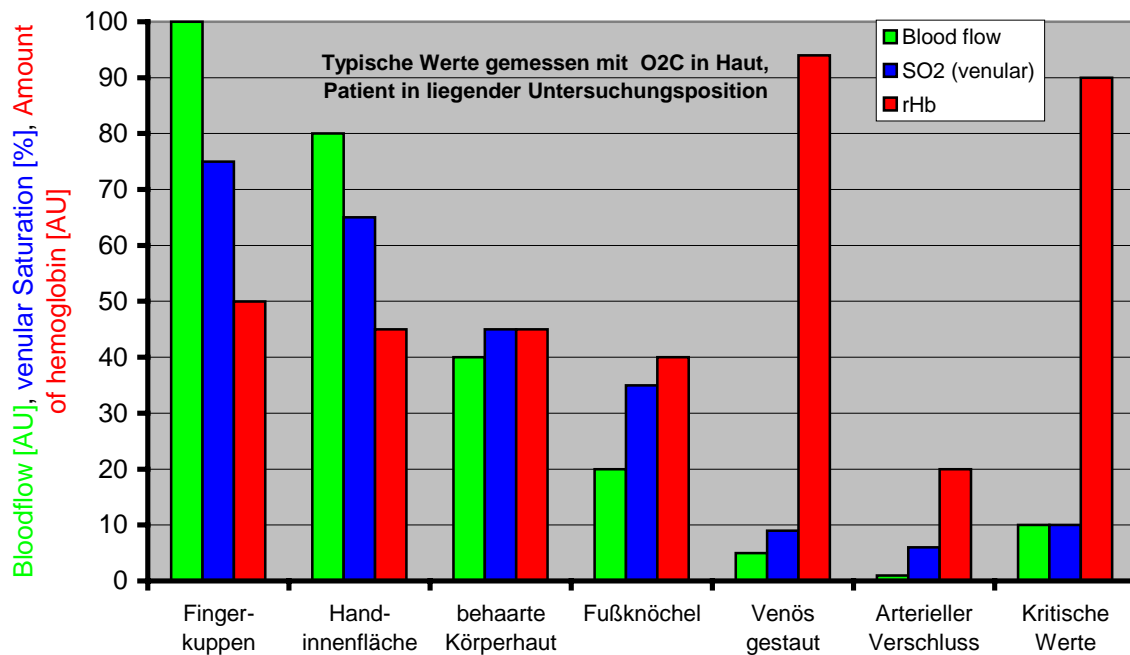


Abbildung 8: Dieses Bild zeigt typische Werte aufgenommen mit dem O2C. Die inter- und intra-individuellen Normalwerte zeigen eine starke Streubreite, besonders gemessen an der Haut, da große Sympathikus- und Temperatureinflüsse auf die Hautdurchblutung wirken. Von großer Bedeutung sind regionale Unterschiede der Sauerstoffversorgung und Sauerstoffreserve, die bei Untersuchungen berücksichtigt werden müssen. Die pathologischen Zustände der kritisch venösen Stase oder lokalen Ischämie sind davon jedoch deutlich durch die Kombination der drei zeit- und ortsgleich gemessenen Werte möglich.

Diagnose der pAVK mit O2C

Abhängig vom Schweregrad der peripheren arteriellen Verschlusskrankheit werden bereits bei einer Untersuchung des Patienten im Liegen kritische Werte, insbesondere der Sauerstoffsättigung, an den Akren detektiert.

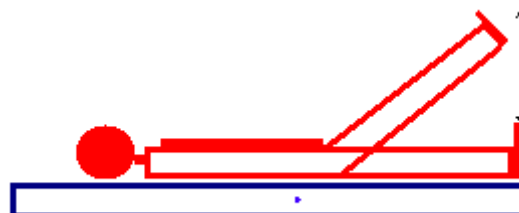
Hierbei gilt eine Sauerstoffsättigung von kleiner als 10 % als kritisch hypoxisch, das betroffene Gewebe ist stark durch eine Nekrose gefährdet¹⁴.

Findet man in horizontaler Lagerung des Patienten keine hypoxischen Werte, so sollte immer eine funktionelle Untersuchung durchgeführt werden. Dabei wird die betroffene Extremität um 65 cm hochgelagert. Hierdurch erhöht sich der Perfusionswiderstand proportional zu der hydrostatischen Druckdifferenz von etwa 50 mmHg. (65 cm Wassersäule = 50 mmHg) Fällt aufgrund der Hochlagerung die

Durchblutung gemessen an den Akren stark ab und hat dies nach einigen Minuten der Hochlagerung - eine Sauerstoffsättigung von kleiner als 10 % zur Folge, so ist ein Perfusionsdruck von 50 mmHg in dieser Extremität nicht mehr gegeben. Die

Untersuchung kann in gleicher Weise auch in einer Wunde durchgeführt werden. Führt

die Hochlagerung zu kritischen Werten in der Wunde, so ist diese Wunde primär arteriell bedingt und einer entsprechenden Therapie zu zuführen.



Führt die Hochlagerung zu einer Erniedrigung aller gemessenen Werte (Flow, SO₂, rHb), so ist ursächlich eine starke arterielle Komponente vorhanden. Bei einem gefäßgesunden Patienten käme es zu einem nur kurzfristigen Einbruch des Blutflusses, der jedoch bereits nach einer Minute wieder durch eine Dilatation der peripheren Gefäße ausgeglichen wäre. Das Gegenteil wäre der Fall bei einem venösen Abstromproblem. In diesem Fall verbessern sich zumindest initial die Werte (SO₂ und Flow steigen, rHb fällt).

Der oft geäußerte Rat, einer Tieflagerung der Extremität bei pAVK, an den Patienten ist kritisch zu hinterfragen. Insbesondere gilt es für den jeweiligen Patienten zu untersuchen, wie lange die Extremität von einer Tieflagerung profitiert, bevor es auch hier zur orthostatisch bedingten Stase kommt, insbesondere bei gemischt arteriell-venösen Problemen.

Diagnose des venösen Abstromproblems mit O₂C

In ähnlicher Weise, wie für die pAVK beschrieben, gilt, dass abhängig vom Schweregrad der venösen Insuffizienz bereits bei einer Untersuchung des Patienten im Liegen kritische Werte, insbesondere der Hämoglobinmenge, an den Unterschenkeln oder Akren detektieren werden können. Hierbei gilt eine Hämoglobinmenge von größer als 90 AU als kritisch gestaut und das untersuchte Gewebe ist auf Dauer stark gefährdet, insbesondere, wenn zudem die Sauerstoffsättigungswerte kleiner als 10 % im untersuchten Gewebe sind.

Findet man in horizontaler Lagerung des Patienten keine kritischen Hämoglobin- bzw. Sauerstoffwerte, so sollte auch hier immer eine funktionelle Untersuchung, die Orthostasebelastung, folgen.

Auch beim gesunden Patienten führt die Orthostase zu einem moderaten Anstieg der Hämoglobinmenge im Gewebe der unteren Extremität. Steigen die Hämoglobinwerte bei Orthostase jedoch über 90 AU und fällt zudem die Sauerstoffsättigung auf Werte kleiner als 10 %, so liegt eine kritische venöse Stase vor. Die Untersuchung kann an der Wade, in der Wunde oder am Zeh in gleicher Weise durchgeführt werden.

Zusammenfassend lässt sich folgern, dass die Orthostase bei einem venösen Abstromproblem zu kritisch hohen Werten der Hämoglobinmenge und kritisch niedrigen Werten der Sauerstoffsättigung und Durchblutung führt.

Das Gegenteil wäre der Fall bei einer pAVK. Liegt ein arterielles Zustromproblem vor, so verbessern sich die Werte (SO₂ und Fluss steigen) aufgrund des zusätzlichen hydrostatischen Drucks – zumindest initial – in der unteren Extremität durch eine aufrechte Position.

Diagnose der Wundheilungsprognose mit O₂C

Die Sauerstoffversorgung in intakter Haut ist gänzlich anders reguliert als die Sauerstoffversorgung in der Wunde. So ist die Wunddurchblutung nicht Temperatur- und nicht Sympatikusabhängig. Ein Ulcus ist gegebenenfalls anders versorgt als das umliegende, intakte Gewebe. Intakte Haut benötigt für den Zellerhalt einen weit geringeren Sauerstoffumsatz als ein Ulcus, in dem Zellregeneration und Zellaufbau stattfinden müssen. Diese Reparaturmechanismen sind energieaufwendig und benötigen einen deutlich gesteigerten Metabolismus.

Folglich ist bei einer Messung direkt in der Wunde die beste Diskriminierung zwischen spontan und nicht spontan heilenden Wunden zu erwarten. In gut standardisierten Messungen konnte dies gezeigt werden. Die nachfolgend zitierte Studie konnte die Annahme belegen, dass der Metabolismus in einer Wunde weit höher ist als in noch intakter Haut. Um eine rasche Wundheilung erzielen zu können müssen alle Werte (SO₂ und Flow) gemessen in der Wunde weit höher sein, als die vergleichbaren Normwerte in intakter Haut. Nachfolgende Tabelle zeigt, dass insbesondere der Blutfluß (Flow) die deutlichsten Unterschiede aufzeigt zwischen einer Wunde mit Spontanheilung gegenüber einer Wunde, die nicht abheilt.

Ort der Messung	SO ₂ (post-kapillär) [%]	Flow (Mikrozirkulation) [AU]	rHb (Blutmenge) [AU]	Velocity[AU]
In der Wunde eines diabetischen Fußulcus ohne spontane Wundheilung	50	20	50	35
In der Wunde eines diabetischen Fußulcus mit spontaner Wundheilung	70	150	70	15

Tabelle 1: Beckert konnte in einer Studie Wertebereiche finden für Wunden mit und ohne Spontanheilung.

Bei Wunden an einer Extremität kann durch die oben beschriebenen funktionellen Untersuchungen rasch abgeklärt werden, ob die Wunde arteriell oder venös bedingt ist. Sinken die Werte (SO₂ und Flow) während Hochlagerung (65 cm) unter die kritischen Werte in der Wunde ab, so ist die Wunde primär arteriell bedingt und dementsprechend zu therapieren.

Steigen die Hämoglobinwerte (rHb) in der Wunde während des Aufsitzens stark an und sinken gleichzeitig die Werte (SO₂ und Flow) auf die kritischen Werte in der Wunde, so ist die Wunde primär venös bedingt.

Nun kann diese Untersuchung auch benutzt werden, um das Optimum zu finden zwischen Hoch- und Tieflagerung der Extremität mit optimalen Sauerstoff- und Durchblutungswerten in der Wunde. In gleicher Weise kann eine optimale Kompressionstherapie durchgeführt werden.

Diagnose von Entzündungen mit O2C

In einer Extremität mit Wunde oder Ödem besteht das Problem dass das Ödem und auch die Wunde verursacht wurden durch eine Entzündung in der betroffenen Extremität. Liegt eine großflächige Entzündung in der Extremität vor, so wäre diese vorrangig zu therapieren. Die Untersuchung wird im Liegen durchgeführt, nach etwa 10 Minuten Ruhe. Mit dem O2C wird die Extremität in einem Abstand von etwa 10 bis 20 Zentimetern von der Wunde entfernt untersucht. In dieser intakten, behaarten Haut, beispielsweise am Unterschenkel, sollten die Normalwerte detektiert werden, wie unten links in der nachfolgenden Graphik abzulesen ist, wenn keine Entzündung in der Extremität vorliegt. Sind jedoch alle Werte aufgrund der Durchblutungssteigerung bedingt durch die Entzündungsreaktion erhöht, so ist die Diagnosestellung zielführend. In diesem Falle sind Werte wie rechts in der nachfolgenden Graphik im Gewebe zu detektieren. Vergleichbare Werte sind auch in der Literatur zu finden.

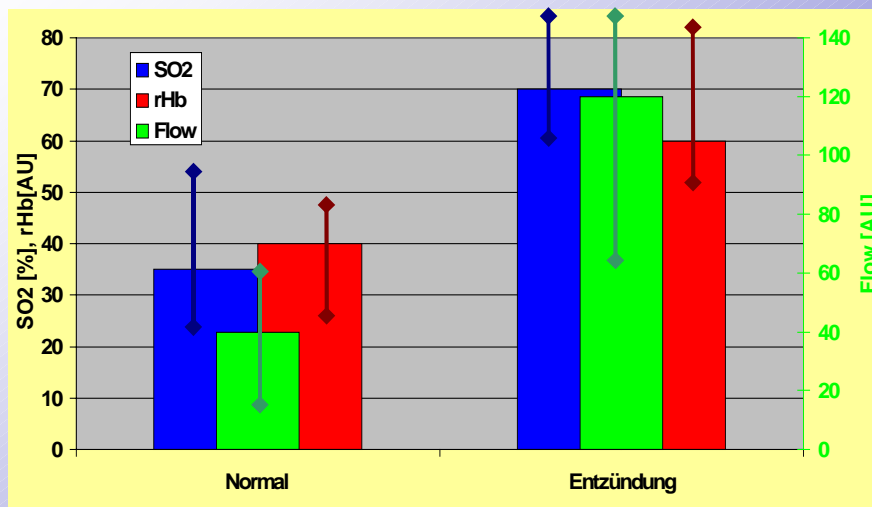


Abbildung 9: Detektion einer Entzündung in einer Extremität durch Zuordnung der lokal gemessenen Werte im Werteintervall von Normalwerten oder im Intervall von Entzündungswerten.

Weitere Studien konnten zeigen, dass die Messungen mit O2C eine frühzeitige Warnfunktion für eine neuerliche Entzündung in der betroffenen Extremität darstellt. Ein Anstieg in den Werten (SO2) konnte bereits etwa 14 Tage früher nachgewiesen werden als es die Klinik über die Wundgröße ermöglicht.

Definition der Kompressionstherapie mit O2C

Die Kompressionstherapie wird durchgeführt, um den venösen Füllzustand der Gefäße mit Blut zu verringern. Wird dieses Ziel erreicht, so verbessert sich das Verhältnis von filtriertem zu resorbierten Wasser und die Gefahr eines Ödems wird verringert. Zudem verbessert ein verringerter venöser Füllzustand der Gefäße immer auch die Hämodynamik und die Mikrozirkulation.

Mit dem O2C kann mit den Sonden unterhalb der venösen Kompression (Bandagen, Strümpfe) gemessen werden. Hierdurch lässt sich einerseits abklären, ob die venöse Kompression stark genug ist und ob das arterielle System durch die Kompression nicht bereits okkludiert wird. Die ersten Messungen sollten hierbei im Liegen erst ohne, dann unter Kompressionstherapie durchgeführt werden.

Durch die Kompression sinkt der rHb-Wert ab. Die Blutflußwerte sollten im Vergleich zu den ohne Kompression gemessenen Werten stabil bleiben. Wenn der Fluß während der Kompression absinkt, ist das arterielle System zumindest teilweise okkludiert. Dies kann zur Hypoxie führen und sollte sorgfältig beobachtet werden.

Nun sollte der Patient aufgerichtet werden (Orthostaselast). Das entscheidende Kriterium für einen ausreichenden Kompressionsdruck ist über den Anstieg des rHb-Wertes zu erfassen. Steigt dieser Wert beim Übergang vom Liegen zum Stehen/Sitzen um mehr als 3 AU an, so ist der Gegendruck durch die Bandage auf die venösen Gefäßwände noch zu gering, da es noch immer zu einem Anstieg des Füllzustandes dieser Gefäße mit Blut kommt. In diesem Fall wäre eine stärkere Kompression anzuraten, solange das zweite Kriterium erfüllt ist, nämlich dass sich der Blutflusswert unter Kompression während des Aufsitzens erhöhen muss.

Abbildung 10 zeigt einen typischen Verlauf aller Werte mit und ohne Kompression beim Übergang vom Liegen zum Stehen.

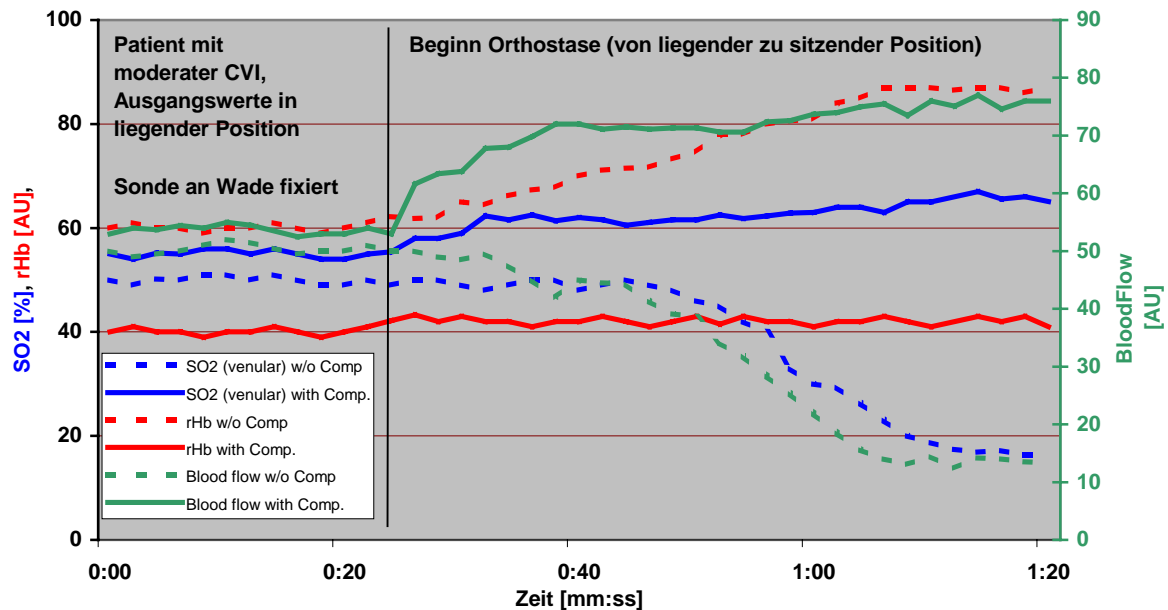


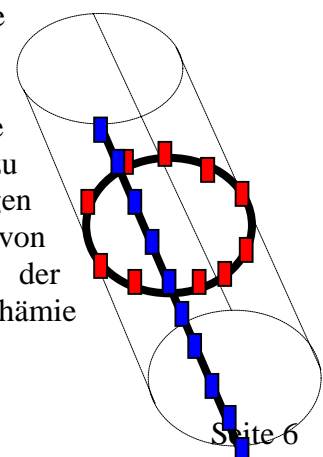
Abbildung 10: Der Patient liegt zunächst in horizontaler Position, während die Baselinewerte ermittelt werden. In dieser Abbildung wird die Auswirkung der Orthostaselast (sitzende Position) auf die Parameter der lokalen Sauerstoffversorgung gezeigt, zum einen mit Kompression (durchgezogene Linien) und zum anderen ohne Kompression (gestrichelte Linien). Ohne Kompression steigt die lokale Hb-Menge stark an und verursacht einen Einbruch in der Mikrozirkulation und damit auch der venolären Sauerstoffsättigung. Bei idealem Kompressionsdruck bleibt der Füllzustand auch bei Orthostaselast nahezu gleich und führt damit immer zu einer verbesserten Perfusion und damit auch zu einer verbesserten Sauerstoffversorgung.

Bestimmung der Amputationshöhe mit O2C

Vorrangiges Ziel in der Versorgung ischämischer Extremitäten ist der Extremitätenerhalt und die Vermeidung der Amputation. Dennoch bleibt in bestimmten Fällen nur die Amputation, wobei heutzutage die Minoramputation als Leitstrategie erachtet wird.

Gleichwohl sollte jedoch vermieden werden den Patienten in kurzen zeitlichen Abständen erneut mit einer Operation zu belasten. Bei der Festlegung der Amputationsgrenze sollte zwischen optimalen Regenerationschancen des belassenen Gewebes und minimaler Resektionsmenge abgewägt werden, um sowohl zusätzliche Re-Operationen, als auch unnötige Amputationen zu vermeiden. Dazu ist es notwendig das Potential einer Wundheilung im geplanten Querschnitt der Amputationshöhe zu bestimmen.

Um die Amputationshöhe festzulegen, sollten nicht nur eine Messung, sondern immer eine Vielzahl von Messungen an verschiedenen Stellen durchgeführt werden, um lokale Heterogenitäten, die makro-zirkulatorisch durch verschiedene arterielle Versorgungsgebiete gekennzeichnet sind, ausreichend zu berücksichtigen. Harrison schlug vor, etwa 10 Messungen zirkumferentiell um die Wade herum durchzuführen und eine Serie von etwa 10 Messungen an der Unterschenkelinnenseite entlang der Längsachse von oben nach unten vorzunehmen. Die kritische Ischämie einer Extremität definierte er wie folgt:



1. Innerhalb der 20 Messpunkte (Kreis und Längsachse) zeigen eine Anzahl von 15% der Messstellen (3 von 20) einen Messwert der venulären Sauerstoffsättigung (SO₂) von kleiner als 10 % an und
2. der Mittelwert aller gemessenen venulären Sauerstoffsättigungswerte (SO₂) ist kleiner als 30 %.

Entsprechend ist in ähnlicher Art und Weise bei der Festlegung der Amputationshöhe im Mittelfußbereich vorzugehen.

Überwachung des Gehtrainings mit O2C

Mit dem O2C kann die Effektivität einer Therapie mit Gehbelastungen am Patienten dargestellt werden. Der Patient sollte dabei bis zum Abbruch aufgrund von Ischämieschmerzen auf dem Laufband gehen, während mit einer O2C-Sonde, die an der Wade des Patienten befestigt ist, die objektive Ischämie der Wadenmuskulatur bestimmt wird. Diese gibt die Rückmeldung an den Patienten, dass nun der Stimulus (Hypoxie, SO₂ kleiner als 10 %) für Gefäßwachstum vorhanden ist. Dadurch werden subjektive Kriterien, die zu fälschlichem Trainingsabbruch beispielsweise durch Motivationsprobleme, Koordinationsschwierigkeiten oder Polyneuropathie führen, vermieden.

Detektion der Polyneuropathie mit O2C

Eine Studie am deutschen Diabetes Forschungsinstitut in Düsseldorf zeigte, dass es mit dem O2C über eine Provokation sehr einfach möglich ist eine Polyneuropathie in einer Extremität nachzuweisen³⁶. Dabei dient die sympathisch vermittelte periphere Vasokonstriktion während eines tiefen Atemzuges der Überprüfung der Funktionsfähigkeit der peripheren sympathischen Nervenfasern.

Nach einer Baselinemessung über 20 Sekunden an unbehaarter Haut (idealerweise den Akren) wird der Patient anschliessend aufgefordert für 10 Sekunden möglichst tief ein- und auszuatmen. Während diese Provokation beim Gesunden zu einem mindestens 50%igem Durchblutungseinbruch für etwa 15-20 Herzschläge führt, kommt es bei einem Typ 2 Diabetiker mit Polyneuropathie nur zu einem 20%igen Durchblutungseinbruch.

Weitere feinere Abstufungen sind derzeit Gegenstand von Studien.