

Non-intrusive tissue oximetry by near infrared and visible light spectroscopy

Doctoral Thesis

Author(s):

Nasseri, Nassimsadat

Publication date:

2016

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010866451>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Dissertation ETH Zurich No. 23678

Non-intrusive tissue oximetry by near infrared and visible light spectroscopy

A dissertation submitted to
ETH Zurich

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

Nassim Nasserri

M.Sc., Amirkabir University of Technology, Iran
born on 25.06.1985 in Tehran
citizen of Iran

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Markus Rudin, examiner
Prof. Dr. Martin Wolf, co-examiner
Dr. Mathieu Lemay, co-examiner

2016

Abstract

The goal of this thesis was to develop, characterize, and technically evaluate non-intrusive optical oximeters. Non-intrusive oximeters are oximeters with high level of comfort for the ambulatory patients or in case of application in the operation theater, with quick application and read-out, with no need for fixation and extended measurement period. Two oximeters are presented. The first one functions based on visible light spectroscopy and the second one is a textile based continuous wave (CW) near infrared spectroscopy (NIRS) oximeter.

In applications such as flap oximetry (e.g. in reconstructive surgery), skin oximetry, and oximetry of bone or heart, themselves, in open surgeries, a non-intrusive oximeter is required which incorporates a small probe and is capable of local measurement of tissue oxygen saturation (StO_2) instantly. We developed a non-intrusive oximetry based on visible light spectroscopy (OxyVLS), which applies visible light and based on the shape of the absorption spectrum of hemoglobin calculates StO_2 , oxyhemoglobin concentration ($[O_2Hb]$), deoxyhemoglobin concentration ($[HHb]$), and reduced scattering coefficient (μ'_s). The functionality of the oximeter is demonstrated in a liquid phantom with adjustable StO_2 . We characterized the oximeter by the influence of scattering and light path as well as total hemoglobin concentration ($[tHb]$) of tissue and concluded that $[tHb]$ had only marginal effect on the StO_2 measured by OxyVLS and the effect of μ'_s was less than 10%. We additionally verified a good agreement between $[O_2Hb]$, $[HHb]$, and μ'_s measured by OxyVLS and frequency domain (FD) NIRS oximeters. Moreover, we derived equations for conversion of the results obtained by OxyVLS in a liquid phantom with adjustable StO_2 to Nonin-neonatal, INVOS adult and neonatal, OxyPrem v1.3, and OxiplexTS which are common in research and clinics. Last but not least, we applied OxyVLS as a reference oximeter, in a phantom measurement and quantified the effect of adipose tissue thickness (ATT) on CW-NIRS oximeters.

In applications such as muscle oximetry, which is of interest, for example, in patients with high risk of peripheral vascular disease (PVD) or in case of pressure ulcer prevention in paraplegics, long term monitoring of StO_2 is required. In such applications, oximetry has to not only protect the health of the patient but also provide a high level of comfort. In paraplegics, for instance, the pressure points from the oximeter's sensor may increase the risk of pressure ulcer development. In our opinion a textile based CW-NIRS oximeter (TexNIRS) overcomes this issue. We developed and char-

acterized sensors and actuators for NIRS on phantoms as well as on a healthy subject. We additionally, evaluated the application and plausibility of the values measured by TexNIRS on 16 legs from 10 healthy subjects by venous occlusion. StO_2 , venous oxygen saturation (S_vO_2), oxygen consumption (VO_2), blood flow (BF), hemoglobin flow (HF), and change in $[O_2Hb]$ and $[HHb]$ due to venous occlusion were plausible and in good agreement with the values reported in the literature.

Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Doktorarbeit war es, zwei den Patienten wenig einschränkende Oximeter zu entwickeln, zu charakterisieren und technisch zu evaluieren. Diese Oximeter bieten einen hohen Grad an Komfort für ambulante Patienten und zeichnen sich bei Anwendung im Operationssaal durch eine schnelle und unkomplizierte Anbringung und Datenerfassung aus, ohne dass eine Fixierung oder dauerhafte Messung notwendig wäre. Nachfolgend werden zwei Oximeter erläutert. Das eine basiert auf Spektroskopie im Bereich des sichtbaren Lichts (OxyVLS) und das andere ist ein textilbasiertes "continuous wave" Nahinfrarotspektroskopie (CW-NIRS) Oximeter.

In Anwendungen wie der Rekonstruktionschirurgie, der Knochen- oder Hautoximetrie sowie der Oximetrie bei Operation am Herzen ist ein nicht-intrusives Oximeter mit kleiner Messsonde notwendig, um Gewebeoxygenierung (StO_2) lokal bestimmen zu können. Wir haben ein Oximeter (OxyVLS) entwickelt, welches sichtbares Licht verwendet. Ausgehend vom Absorptionsspektrum des Hämoglobins berechnet es StO_2 , die Oxyhämoglobin- ($[\text{O}_2\text{Hb}]$), Deoxyhämoglobinkonzentration ($[\text{HHb}]$) und den reduzierten Streukoeffizient (μ'_s). Die Funktion des Oximeters wird demonstriert mit einem flüssigen Phantom mit einstellbarem StO_2 . Die Charakterisierung des Oximeters erfolgte unter Veränderung sowohl des Streukoeffizienten und damit auch des Lichtpfads als auch des totalen Hämoglobingehalts ($[\text{tHb}]$) des Phantoms. Wir folgerten daraus, dass $[\text{tHb}]$ nur marginale Auswirkungen auf die StO_2 durch OxyVLS hatte und der Einfluss von μ'_s geringer als 10% war. Wir konnten zusätzlich eine gute Übereinstimmung zwischen $[\text{O}_2\text{Hb}]$, $[\text{HHb}]$ und μ'_s von OxyVLS und Frequenzbereich (FD) Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS) Oximeter bestätigen. Darüber hinaus leiteten wir Gleichungen ab zur Umwandlung der durch OxyVLS in einem flüssigen Phantom mit einstellbarer StO_2 erzielten StO_2 Werte in diejenigen verschiedener anderer NIRS-Oximeter, die in der Forschung und in Kliniken eingesetzt werden (Nonin mit Neugeborenenensensor, INVOS mit Erwachsenen- und Neugeborenenensensor, OxyPrem v1.3 und OxiplexTS). Des Weiteren haben wir das OxyVLS in einer Phantom-Messung als Referenz-Oximeter eingesetzt und konnten den Effekt von adipösen Gewebeschichten verschiedener Dicken (ATT) auf einige CW-NIRS Oximeter quantifizieren.

In Anwendungen wie der Muskel-Oximetrie ist eine Langzeitüberwachung des StO_2 notwendig. Dies ist beispielsweise bei Patienten mit hohem Risiko

von peripherer Gefäßkrankheit (PVD) von Interesse. In solchen Anwendungen haben die Oximeter neben der Gesundheit des Patienten auch dessen Komfort zu berücksichtigen. In der Paraplegie beispielsweise kann der Oximetrie-Sensor Druckstellen verursachen, die das Risiko von Druckgeschwüren erhöhen. Unserer Meinung nach verhindert ein Oximeter mit textilbasiertem CW-NIRS Sensor (TexNIRS) solche Nachteile. Solche Sensoren und Aktoren für die Nahinfrarotspektroskopie haben wir sowohl unter Zuhilfenahme von Phantomen als auch an gesunden Testpersonen entwickelt und charakterisiert. Ausserdem haben wir die Anwendung und Plausibilität der Messungen mit TexNIRS an 16 Beinen von 10 gesunden Testpersonen anhand einer venösen Stauung evaluiert. Gewebeoxygenierung (StO_2), venöse Sauerstoffsättigung (S_vO_2), Sauerstoffverbrauch (VO_2), Blutfluss (BF), Hämoglobinfluss (HF) und Änderungen in $[O_2Hb]$ und $[HHb]$ durch die venöse Stauung waren plausibel und in guter Übereinstimmung mit Literaturwerten.