

# SVALOVÁ OXYGENACE



**Úvod do monitorování svalové oxygenace s Moxy**



# Úvod do měření svalové oxygenace pomocí Moxy



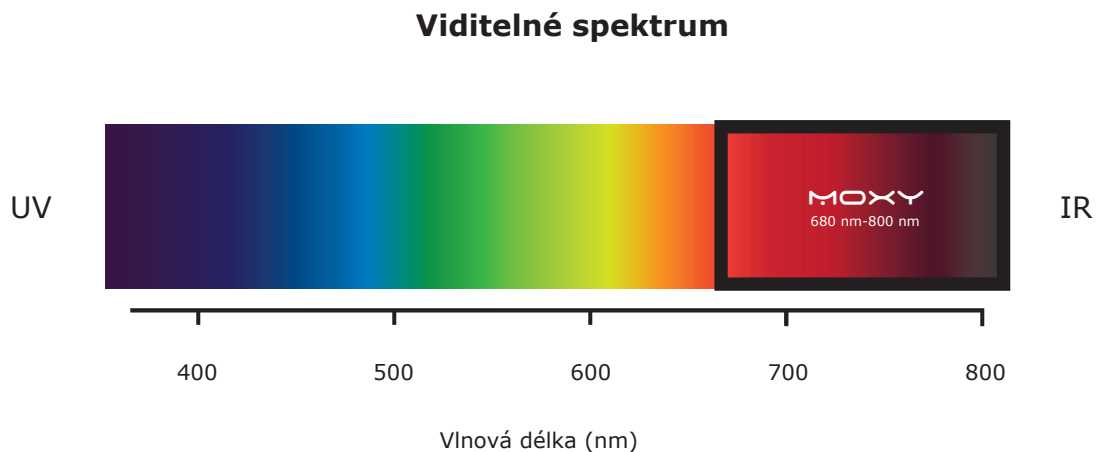
Účelem této e-Knihy je poskytnout přehled o tom, jak Moxy Monitor funguje, co měří, a jak se používá ve sportovním tréninku.

Jste zváni k nahlédnutí do našich E-knih na [www.sportmedical.cz](http://www.sportmedical.cz) nebo [www.moxymonitor.com](http://www.moxymonitor.com) pro získání praktických informací, jak trénovat s Moxy.

## Jak Moxy funguje

Jak jeho název napovídá, Moxy monitor poskytuje možnost kontinuálního měření a monitorování hladiny saturace kyslíkem ( $\text{SmO}_2$ ) ve svalové tkáni sportovců.

Monitor svalové oxygenace využívá technologii infračervené spektroskopie neboli NIRS. Přístroj využívá červené světlo, které je hned za koncem viditelného spektra. Moxy využívá světlo o vlnové délce od 680 nm, které je jasně viditelné, do 800 nm, které je lidským okem téměř neviditelné.



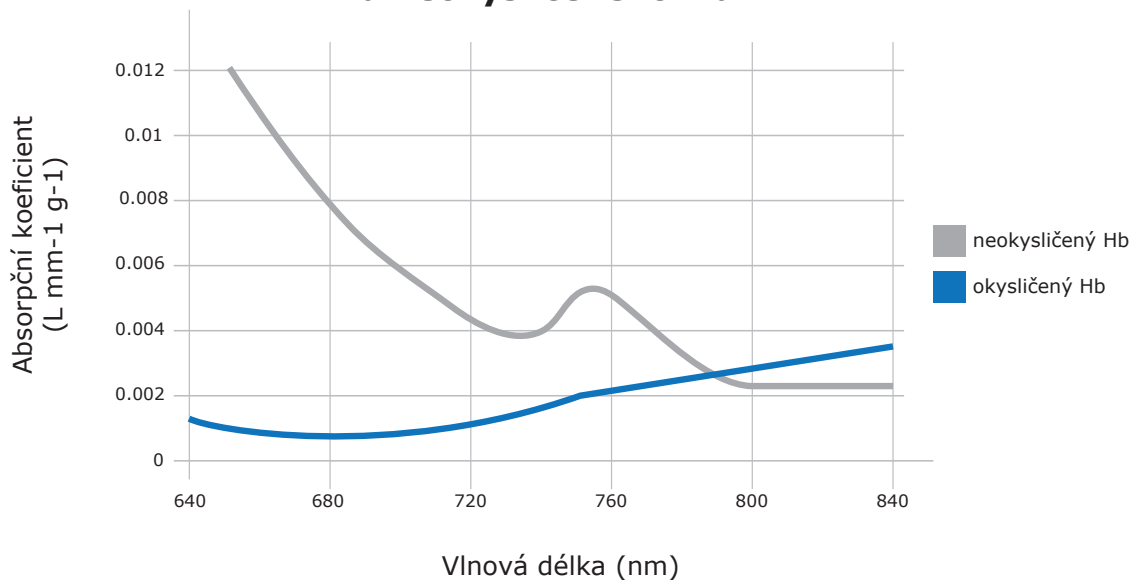
Infračervené záření je pro tento typ měření vhodné z toho důvodu, že projde kůží, podkožním tukem a svalem na dlouhou vzdálenost, aniž by bylo úplně absorbováno. Světlo je rozptýleno přes tkáň, neprochází však jako přímka a proto je takovéto kvantifikovatelné měření náročné, nicméně možné.

Následující fotografie ukazuje ruku, které je přímo nad zdrojem světla. Je zde vidět, že pokožka zčervená. Fialové, modré, zelené a žluté světlo se vstřebává a pouze červené světlo prochází.

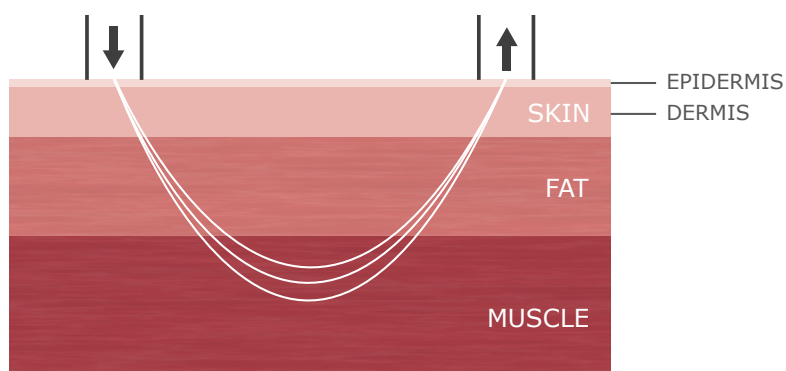


Další pozitivní vlastností infračerveného světla je, že se vstřebává různě do molekul hemoglobinu a myoglobinu, na kterých je kyslík navázán a jinak do těch, které na sobě kyslík navázaný nemají. Toto je tzv. "spektroskopický" aspekt NIRS. Procentuální podíl molekul hemoglobinu a myoglobinu, které nesou kyslík, může být odvozen tím, že optické měření je prováděno při různých vlnových délkách. Následující graf ukazuje rozdíl absorpance hemoglobinu; absorpance myoglobinu je velmi podobná.

### Absorpční křivka okysličeného a neokysličeného Hb



Aby bylo možné vyčíslit měření NIRS v lidské tkáni, je nutný model pro kalibraci měřicího systému. Některá zařízení používají pro měření fyzikální model - tkáňový fantom nebo skutečný model (lidské kůže). Moxly využívá teoretický model, tento umožňuje přizpůsobení v mnohem širší škále fyziologických proměnných. Moxly používá čtyřvrstvený model, model se skládá z epidermis, dermis, tuku a svalů.



## Co Moxly měří

Přesné pochopení, jak Moxly měří je rozhodující pro pochopení toho, jak ho použít pro sportovní trénink. Primárně Moxly měří saturaci hemoglobinu a myoglobinu kyslíkem v kapilárách svalu. Podívejme se na to jak.

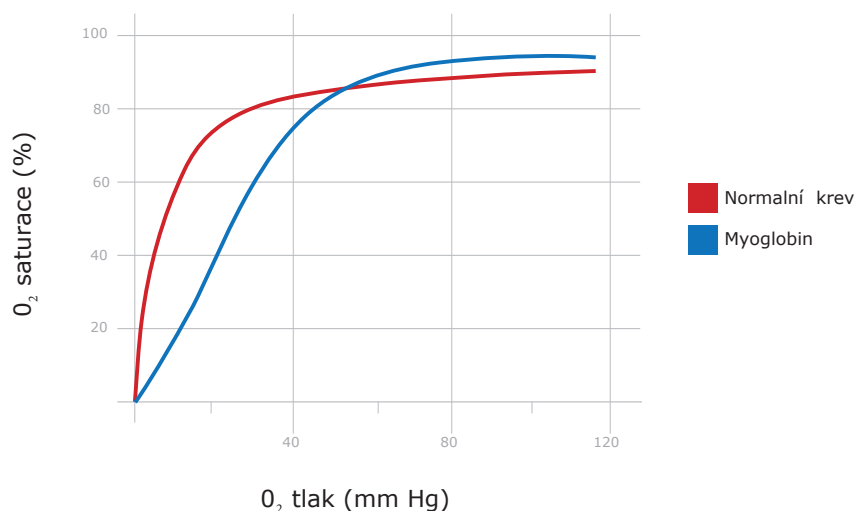
### Hemoglobin a Myoglobin

Hemoglobin je molekula červených krvinek, které přenáší většinu kyslíku v krvi. Hemoglobin váže kyslík, ve chvíli kdy prochází plicemi a v okamžiku kdy prochází kapilárami tkáně, které ho potřebují, jej uvolňuje.

Myoglobin je molekula ve svalových buňkách, která je také schopná vázat a uvolňovat kyslík a působí jako zásoba kyslíku ve svaích. Jak již bylo uvedeno výše, tyto molekuly mění schopnost optické absorpance v závislosti na tom, zda mají či nemají na sebe navázaný kyslík; výsledná změna barvy je to, co je skutečně měřeno.

Není známo, jakou část signálů NIRS pohltí hemoglobin a jakou část myoglobin. Relativní podíl každého závisí na celkovém množství přítomného hemoglobinu. Různé studie ukázaly, že myoglobin pohltí od 10% do 50% signálu NIRS.

Je důležité si uvědomit, že hemoglobin a myoglobin nejsou na konci dopravního řetězce kyslíku, ale přibližně v polovině. V závěrečných fázích transportu se kyslík uvolňuje z hemoglobinu a pak se šíří do intersticiální tekutiny a následně do buněk, které ho budou nakonec využívat. Kolik hemoglobin uvolní, kyslíku závisí na úrovni kyslíku rozpuštěného v okolí. Myoglobin také váže nebo uvolňuje kyslík v závislosti na množství rozpuštěného kyslíku, ale v jiných úrovních než hemoglobin. To je znázorněno v následujícím grafu.



Je nutné si uvědomit, že disociační křivka hemoglobinu není pevně dána. Faktory jako je teplota a pH mohou posunout křivku doprava nebo doleva. Nízké pH (kyselejší) může vést k tomu, že hemoglobin snadněji uvolňuje kyslík. Obsah CO<sub>2</sub> v krvi má vliv na hodnoty pH, zvýšená hladina CO<sub>2</sub> způsobí, že hemoglobin uvolňuje kyslík snadněji. Tyto faktory jsou významné při práci svalů, proto je důležité si uvědomit, že Moxly měří navázaný kyslík na hemoglobin a myoglobin a ne kyslík rozpuštěný. Posun disociační křivky se někdy označuje jako vliv na "biologickou dostupnost" kyslíku, nebo že se hemoglobin stává "méně přilnavý" (tzn. hůře na sebe váže kyslík).

## Saturace kyslíkem

Saturace kyslíkem určuje množství hemoglobinu a myoglobinu, které na sobě mají navázaný kyslík. Je to poměr mezi množstvím okysličeného hemoglobinu + myoglobinu a celkovým množstvím hemoglobinu + myoglobinu vynásobeného 100, výsledek je vyjádřen jako procentuální podíl.

$$\left( \frac{\text{okysličený hemoglobin + myoglobin}}{\text{celkové množství hemoglobinu + myoglobinu}} \right) \times 100 = \text{Saturace kyslíkem}$$

Saturace kyslíkem se může pohybovat v rozsahu od 0% do 100%. Pokud jsou použity zkratky jako **SmO<sub>2</sub>**, **SpO<sub>2</sub>**, **SaO<sub>2</sub>**, **ScvO<sub>2</sub>**, atd., "S" se vztahuje k nasycení. Malé písmeno se vztahuje k místu měření nebo typu měření:

**S**(**X**)O<sub>2</sub>

**S** Saturace

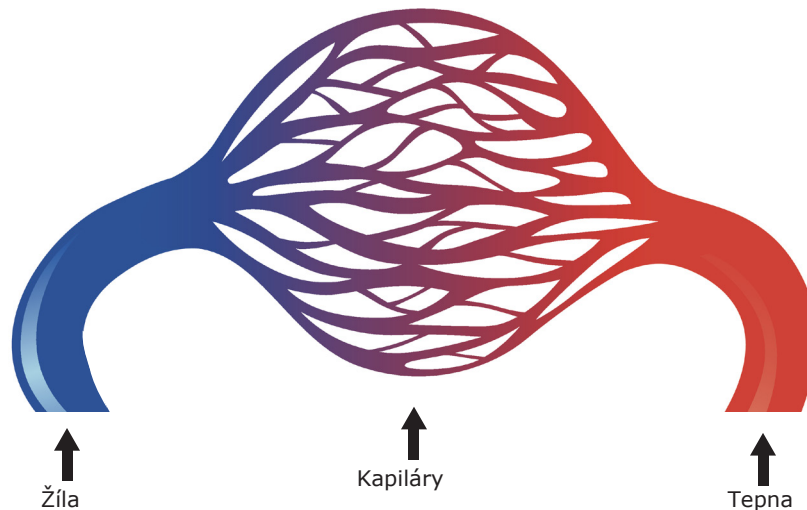
**X** Oblast měření nebo typ měření

- m** - sval
- a** - tepna
- p** - měření pulsním oxymetrem
- cv** - centrální žíly

**O<sub>2</sub>** Kyslík



## Kapiláry



Fyziologická poloha měření nasycení kyslíkem je také rozhodující pro pochopení toho, jak zařízení používat. Optické zařízení a algoritmus Moxly jsou navrženy tak, aby měření pocházelo z kapilár. Měření má tendenci k vyloučení velkých cév, protože koncentrace hemoglobinu v nich je tak vysoká, že veškeré světlo se vstřebá. Světlo, které je schopno odrazit se zpět do detektorů musí procházet přes méně opticky husté prostředí, mezi něž patří kapiláry.

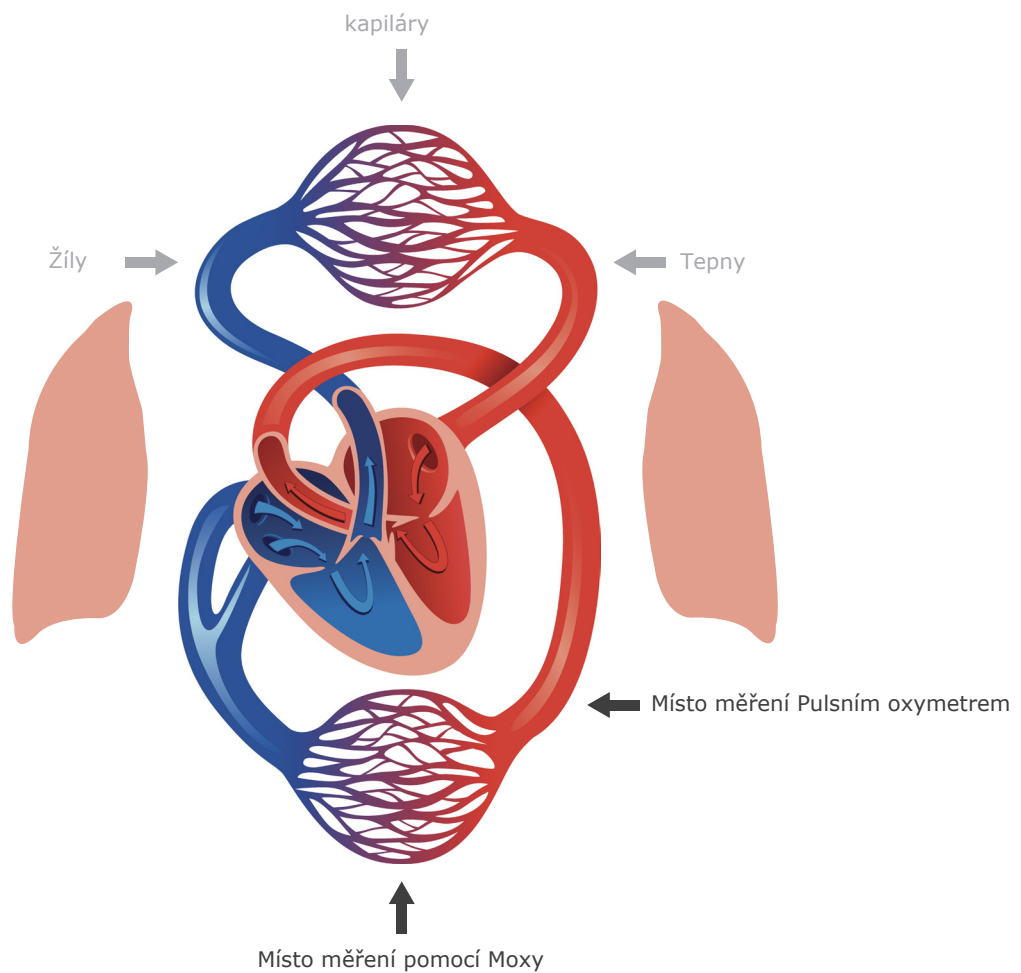
Kyslík zůstává vázán na molekuly hemoglobinu od okamžiku, kdy krev opouští plíce, až se dostane do kapilár. Určité množství kyslíku se z hemoglobinu uvolní. Množství uvolněného kyslíku závisí na množství kyslíku rozpuštěného v okolí, což se promítne v disociační křivce hemoglobinu.

To vede k jednoduché myšlence. Moxly měří rovnováhu mezi nabídkou a poptávkou po kyslíku ve tkáni kolem kapilár. Je-li požadováno více kyslíku, než je dodáváno, což indikuje nižší úroveň rozpuštěného kyslíku ve tkáni, saturace kyslíkem se snižuje.

Je zásadní rozdíl v měření množství kyslíku v kapilárách pomocí Moxy a Pulsním oxymetrem. Pulsní oxymetr reaguje na expanzi a kontrakci tepen s každým srdečním tepem, to umožňuje měření saturace kyslíku v tepnách. Protože hemoglobin obvykle neuvolňuje kyslík v tepnách, arteriální oxygenace je shodná v celém těle.

Ve chvíli, kdy hemoglobin vstupuje do kapilár, množství kyslíku, jež uvolní, závisí na aktuálním množství kyslíku ve tkáni, proto se může výsledek výrazně měnit v závislosti na místě měření.

Následující obrázek nám pomůže ukázat místo měření pomocí Pulsního oxymetru v tepnách a Moxy v kapilárách.



## Sval

Moxy měří kyslík ve svalech. Optická konfigurace a algoritmus jsou navrženy tak, aby bylo Moxy vysoce citlivé na svalové vrstvy a naopak reagovalo minimálně s kůží a tukovou vrstvou. To je důležité pro pochopení měření s Moxy, změny prokrvení kůže během cvičení jsou způsobeny hlavně ochlazováním organismu a nemají přímý vztah k metabolickým změnám ve svalu.

## Celkový hemoglobin

Moxy také sekundárně měří celkový hemoglobin (THb). Existuje několik faktorů, které přispívají k měření celkové hodnoty hemoglobinu, včetně následujících:

- Tloušťka tukové vrstvy
- Koncentrace hemoglobinu v krvi
- Relativní koncentrace myoglobinu
- Objem krve ve svalech

Určovat celkový hemoglobin není vhodné v absolutním smyslu, protože hodnoty těchto 4 faktorů nejsou nezávislé a značně se liší.

Nicméně, i když je provedeno pouze jedno měření na jednom sportovci během krátkého času, předpokládáme, že tloušťka tukové vrstvy, koncentrace hemoglobinu a myoglobinu zůstávají konstantní. Pak při jakékoliv změně celkového hemoglobinu lze předpokládat, že tato změna je způsobena objemem krve ve svalu.

Zvýšení nebo snížení objemu krve a informace o relativním rozsahu změn lze odvodit na základě těchto předpokladů.

Příkladem změn celkového hemoglobinu ve svalu, které můžeme pozorovat u sportovců, jsou změny na začátku cvičení. HR se zvyšuje a tepny při práci svalů mají tendenci dilatovat. To může způsobit zvýšení množství krve ve svalech a tak se projeví zvýšení THb.

## **Jak Moxy používat při sportovním tréninku**

Tato část popisuje jak je Moxy aplikováno při sportovním tréninku ze dvou různých pohledů. První část porovnává jak se Moxy používá pro hodnocení, při tréninku a závodech. Dále je zde popsáno jak se Moxy používá při vytrvalostních, acyklických a silových sportech.

### **Hodnocení, trénink a závody**

#### **Hodnocení**

Moxy vyžaduje provést určitý typ zátěžového protokolu, který je nutný k tomu, aby bylo možné sportovce posuzovat. Měření v klidu se mohou pohybovat v rozmezí od 40% do 80% SmO<sub>2</sub> a poskytují ne moc užitečné informace. Moxy oceníme tehdy, když tělo sportovce reaguje na zatížení a na změny v zatížení. Tato hodnocení umožňují trenérům identifikaci následujících otázek:

- Jaké jsou optimální zóny intenzity tréninku?
- Které fyziologické systémy omezují výkon a které jsou kompenzační?
- Jak rychle sportovec po zátěži regeneruje?
- Jak sportovec zregeneroval po předchozích cvičeních?
- Jaká je úroveň funkce mitochondrií ve svalu?

Běžným typem hodnocení je stupňovaný zátěžový test, kdy je intenzita cvičení zvyšována po malých krocích v pevných časových intervalech. Informace o zóně intenzity tréninku mohou být odvozeny z testu, jako je tento.

Nicméně sofistikovanější analýza je možná sofistikovanějšími testy. Například, když je mezi jednotlivé kroky zavedený krátký čas odpočinku, což poskytne další informace o obnově a limitaci systému.

## Trénink

Obecně platí, že trénink je definován několika parametry:

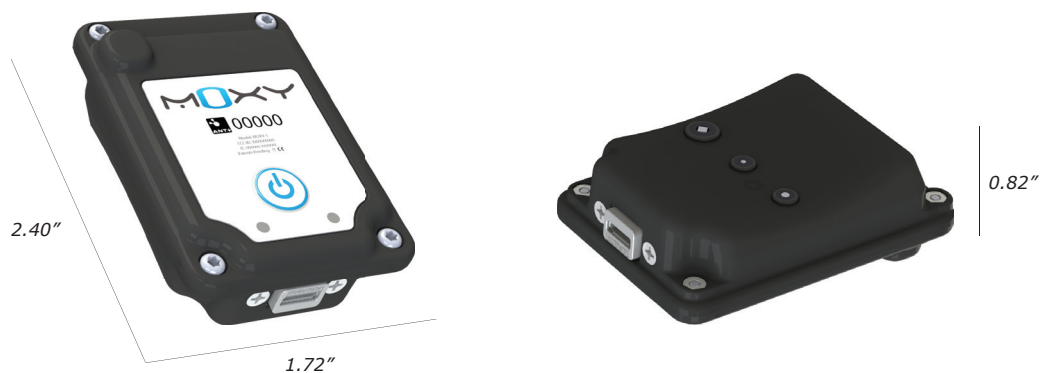
- **Druh cvičení**  
(běh s krátkým krokem, jízda na kole s kadencí 80 otáček za minutu, bicepsově zdvihy)
- **Intenzita tréninku**  
(tempo 5 min/km , 250 Wattů, hmotnost 11,5 kg)
- **Doba trvání tréninku**  
(5 minut, 4,8 km, 10 opakování, do chvíle, kdy není schopen udržet tempo)
- **Zotavení mezi jednotlivými sériemi**  
(2 minuty, dokud tepová frekvence neklesne pod 120 tepů za minutu)

Tyto parametry budou vybrány trenérem na základě individuálního posouzení sportovce. Moxxy může být využito jako průvodce intenzitou tréninku, jeho délkou a pro určení délky fáze zotavení.

**Intenzita** - Moxy nabízí lepší měření intenzity fyziologického tréninku pro sportovce než pouhé měření tempa nebo výkonu, protože Moxy měří aktuální zatížení těla, nikoliv jen výstup v podobě mechanické energie. Trenéři mohou instruovat běžce tak, aby běžel tempem, při kterém si bude držet SmO2 kolem 65%, je tedy nutné přizpůsobit se vnějším faktorům, např. teplotě. Úroveň regenerace je pak mnohem lepší, než v případě kdy se sportovec orientuje pouze pevně daným tempem např. 12km/h.

**Doba tréninku** - Moxy určí dobu tréninku mnohem přesněji, není dobré spoléhat pouze na pevně stanovenou dobu. Vzpěrač může pokračovat v opakování cviků, dokud jeho SmO2 dosahuje nízkých hodnot a následně přestat pro regeneraci. Tímto způsobem Moxy může pomoci informovat o optimálním počtu opakování, která by měla být prováděná v různých intervalech tréninku.

**Regenerace** - Moxy také vede regeneraci během tréninku. Hokejista může provést intervalový trénink, kdy v každém intervalu počká, než se obnoví SmO2 na určitou úroveň a následně začne další část tréninku. V případě, že se SmO2 již nevrátí na určitou úroveň, měl by být trénink ukončen.



## Závody

Moxy také optimalizuje výkon a informuje trenéry v průběhu soutěže. Lze ho použít k optimalizaci tempa při závodě na základě skutečných fyziologických parametrů sportovce měřených v reálném čase. Je možné zjistit, jak moc je sportovec unavený až do bodu, kdy se jeho výkon zhoršuje, nebo když se např. dostatečně zregeneruje během střídání a může zpět do hry.

## Druhy sportů

### Vytrvalostní sporty

Mezi vytrvalostní sporty řadíme sporty jako je cyklistika, běh, plavání, kde sportovec vynakládá energii po dobu mnoha minut nebo hodin. Některé hodnotící protokoly byly vyvinuty právě pro vytrvalostní sporty. Data z přístroje mohou být použita buď samostatně, nebo jako doplňují informace pro trenéry.



Moxy je ideální pro určení intenzity a sledování stavu regenerace při vytrvalostních sportech. Informace o svalové oxygenaci jsou obzvláště užitečným nástrojem pro nastavení individuální intenzity zatížení. Moxy bere v potaz faktory, které ovlivňují výkon jako je vnější teplota nebo stav regenerace sportovce. Pokud k nastavení intenzity cvičení použijeme pouze běžné ukazatele, jako je např. tempo běhu nebo výkon při šlapání na kole, nemáme informaci o skutečné zátěži pro organismus.

## Acyklické sporty

Acyklické sporty jsou sporty jako fotbal, hokej, rugby atd. kde sportovec často zastavuje a opět se dostává do pohybu. Hodnocení acyklických sportů se obecně provádí při tréninku a jde primárně o posouzení napodobovaných pohybů typických danému sportu, které se opakují.

Obrovským přínosem Moxy je možnost monitorování sportovce během zápasu (na hřišti), kdy provádí vlastní sport.



Tato cvičení jsou dále přizpůsobena pro daný typ námahy vyžadované v daném sportu v jejich pozicích a rolích. Hodnocení umožňuje trenérům určit limitní výkon fyziologického systému, což přesněji ukazuje pokrok během tréninku a pomáhá sportovcům naučit se rychleji regenerovat.

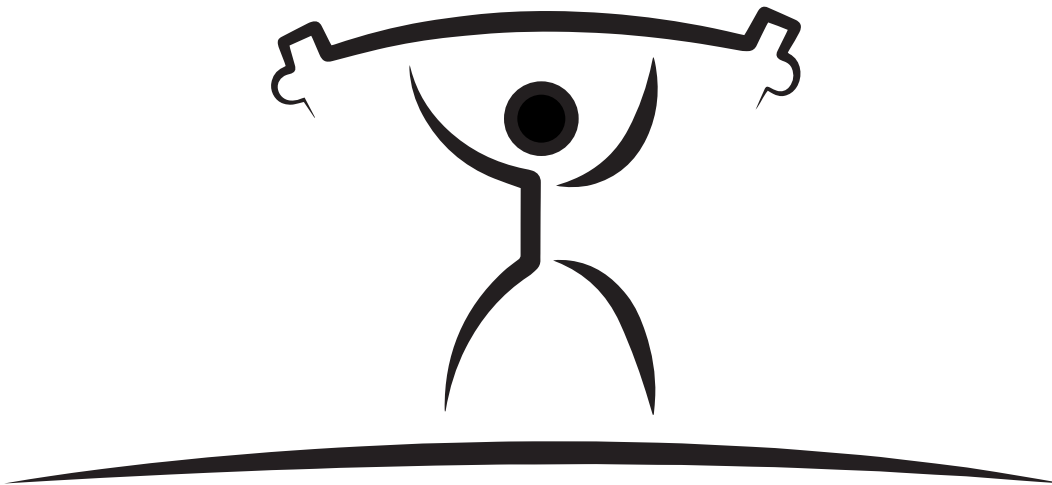
V budoucnosti, sportovci acyklických sportů budou používat Moxy během zápasu. Trenéři tímto způsobem budou moci zjišťovat, kdy hráče vystřídat, aby zregeneroval a byl schopný se vrátit do hry.



## Silový trénink

Moxy je možné použít jako hodnotící nástroj při silovém tréninku, napomáhá určit, která svalová vlákna se začínají aktivovat. Směr vývoje v SmO<sub>2</sub> zobrazený pomocí Moxy napomáhá zjistit, jak se jednotlivé systémy přizpůsobují různým zátěžím.

Moxy je užitečný i přímo během tréninku, kdy nám napomáhá určit počet opakování a také dobu regenerace. Například, ideální počet opakování může být stanoven monitorováním úrovně odkysličování, a doba regenerace mezi sériemi může být optimalizována na základě úrovně reoxygenace.



## Shrnutí

Sledování svalové oxygenace pomocí Moxy umožňuje trenérům vidět, co se děje ve svalu sportovce v reálném čase. Tyto informace mohou sloužit k snadnějšímu posuzování a úpravě tréninku, který bude efektivnější.

Ještě jednou Vás zveme k nahlédnutí do našich E-knih na [www.sportmedical.cz](http://www.sportmedical.cz) nebo [www.moxymonitor.com](http://www.moxymonitor.com) pro získání praktických informací, jak trénovat s Moxy.



## CO JE MOXY MONITOR?

Fortiori design vytvořil Moxy svalový monitorovací systém pro měření hodnoty kyslíku ve svalu během zátěže. Je přesný a umožňuje měření v reálném čase, což je základem pro každého sportovce. Kyslík je "palivo" pro činnost svalu a hodnota kyslíku ve svalu se konstantně mění s intenzitou zátěže.

Moxy poskytuje zpětnou vazbu pro intenzitu, která je cílem sportovce. Naše technologie je mimořádná, protože je kompletně mobilní s kontinuálním nahráváním a absolutně neinvazivní.

## PROČ MOXY MONITOR?

Moxy je **přesný**: jeho sensor používá nejmodernější medicínské technologie pro přesné a konstantní snímání SmO<sub>2</sub> hodnoty kyslíku ve svalech.

Moxy je **snadný** pro použití: Jeho malý snímač a pásek mohou být jednoduše použity pro všechny typy svalů.

Moxy je **odolný**: Je voděodolný, jednoduchý design je navržený pro vysokou odolnost při tréninku.

Moxy je **mobilní**: Data snímače jsou přehrávána na hodinkách, a tudíž může sportovec monitorovat svůj výkon kdykoliv během zátěže.

Moxy je **cenově dostupný**: Cena je podobná GPS srdečnímu monitoru, tudíž je Moxy přístupný i pro jednotlivé sportovce.

