

METODICKÝ LIST ČAS

VÝZNAM A MĚŘENÍ SATURACE SVALOVÉHO KYSLÍKU

Zpracoval Ing. Mgr. Jan Kubeš

Úvod a význam měření SmO_2

Sledování **svalové oxygenace (SmO_2)** pomocí metody **Near-Infrared Spectroscopy (NIRS)** představuje v současnosti klíčový nástroj v oblasti sportovní vědy, tréninku i diagnostiky. Na rozdíl od tradičních metod, které hodnotí systémové parametry jako tepová frekvence (TF), krevní laktát či maximální spotřebu kyslíku (VO_{2max}), nabízí měření SmO_2 možnost neinvazivního a kontinuálního sledování lokálního stavu okysličenosti ve svalových tkáních v reálném čase. To otevírá zcela nový rozměr pro pochopení a optimalizaci fyziologických procesů během tréninku i regenerace.

Co je to SmO_2 a proč se měří?

SmO_2 (muscle oxygen saturation) ukazuje, kolik kyslíku má sval skutečně k dispozici při práci. Měří se neinvazivně pomocí senzoru (např. Moxxy Monitor) umístěného přímo na kůži nad aktivním svalem.

Umožňuje trenérovi i sportovci sledovat, jak efektivně sval využívá kyslík během zátěže a regenerace – tedy kdy trénink zlepšuje vytrvalost a kdy už přetěžuje.

Pro koho a pro jaké disciplíny:

SmO_2 měření je vhodné pro většinu sportů, kde rozhoduje práce svalů v aerobním režimu:

- vytrvalci (sprinty i střední a dlouhé tratě),
- vícebojaři a atleti (běhy, skoky, hody – sledování asymetrií a únavy),

Co je potřeba:

1 senzor (např. Moxxy Monitor), páska nebo gumový obal proti světlu, sporttester pro záznam tepové frekvence, software (např. VO2master, Moxxy Portal nebo TrainingPeaks).

Jak často měřit:

- orientačně 1–2× měsíčně při diagnostice,
- v tréninku klidně **každý den**, pokud se sleduje vývoj únavy nebo desaturace a resaturace O_2 ,
- u testů jako 5-1-5 nebo ramp test – podle tréninkového cyklu (cca každých 6–8 týdnů).

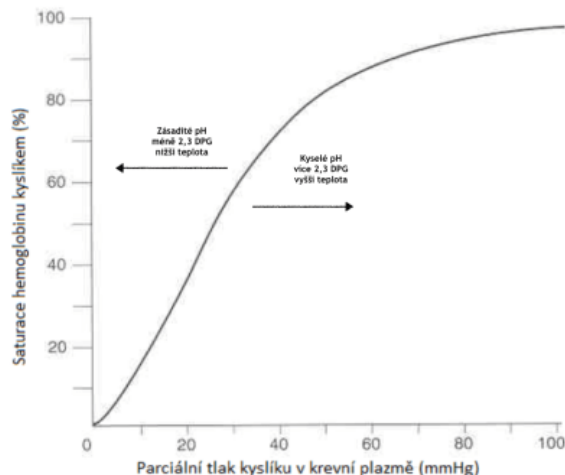
Příklady využití:

- běžec zjistí, že při určitém tempu už sval ztrácí kyslík → upraví intenzitu,
- běžec porovná hodnoty SmO_2 mezi intervaly → odhalí slabinu,
- sprinter sleduje, jak rychle se mu po úseku vrací SmO_2 → měří regeneraci,
- vícebojař zjistí rozdíl mezi pravou a levou nohou → cílený trénink.

Fyziologické základy svalové oxygenace

Porozumění fyziologii svalové oxygenace je klíčové pro správnou interpretaci SmO_2 . Kapilární síť v kosterním svalu tvoří rozhraní mezi oběhovým systémem a mitochondriemi, kde dochází k přestupu kyslíku a jeho využití pro oxidativní fosforylaci – hlavní mechanismus tvorby ATP při vytrvalostní práci. Hustota kapilár, průtok krve, koncentrace hemoglobinu i kapacita mitochondrií určují, jak efektivně je kyslík využíván během zátěže.

Hemoglobin je hlavním transportérem kyslíku z plic do tkání. Jeho chování vysvětluje disociační křivka hemoglobinu, která popisuje, jak snadno hemoglobin kyslík přijímá nebo uvolňuje podle podmínek v těle (pH, teplota, CO_2). Ve svalu se uplatňuje také myoglobin, který umožňuje lokální přenos a krátkodobé zásobení kyslíkem; rozdílná „síla vazby“ hemoglobinu a myoglobinu je důvodem, proč SmO_2 věrně odráží reálné možnosti svalového metabolismu.



Obr. Disociační křivka O_2

SmO_2 se zásadně liší od SpO_2 . SpO_2 se anglicky označuje jako "Peripheral oxygen saturation" - periferní saturace kyslíkem a SmO_2 anglicky znamená "Muscle oxygen saturation" - svalová saturace kyslíkem odráží lokální metabolické podmínky v pracujícím svalu. THb (total hemoglobin) slouží jako ukazatel místního průtoku a změn prokrvení během zátěže nebo zahřátí.

Měření ovlivňuje tloušťka tukové tkáně (ATT - anglicky označuje "Adipose tissue thickness" - tloušťka tukové tkáně), teplota, hydratace i tlak na měřenou oblast. Tyto faktory mění šíření infračerveného signálu i průtok krve – proto je nutné senzor umístit na místo s nízkým ATT, stabilní teplotou a bez komprese, jinak mohou být hodnoty zkreslené.

Fyziologické rozsahy SmO_2 se liší podle sportu a intenzity. U vytrvalců bývá klidová SmO_2 60–80 %, při maximální zátěži může klesnout na 10–25 %. Svaly s vyšší kapilarizací a mitochondriální hustotou udrží vyšší saturaci i při intenzivní práci, zatímco unavené nebo netréované svaly desaturují rychleji a výrazněji.

Znalost těchto principů umožňuje správně rozlišit typ limitace (centrální vs. periferní) a využít SmO_2 k přesnému řízení tréninku. Vztah mezi kapilární strukturou, funkcí hemoglobinu/myoglobinu a regulačními vlivy prostředí tvoří základ moderní individuální diagnostiky a kontroly zatížení.

Technologie a princip fungování Moxy Monitoru

Moxy Monitor pracuje na principu near-infrared spectroscopy (NIRS), která využívá schopnost infračerveného světla (700–900 nm) pronikat do měkkých tkání. Hemoglobin a myoglobin toto světlo pohlcují podle toho, zda nesou nebo nenesou kyslík, což umožňuje neinvazivně odhadovat jejich aktuální stav přímo ve svalu. Moxy tak kontinuálně měří SmO_2 (lokální saturaci kyslíkem) i THb (ukazatel množství krve v měřeném místě).



Obrázek: Moxy Monitor s gumovým stínítkem

Zařízení využívá kontinuální vlnové zdroje a více detektorů v různých vzdálenostech, díky čemuž rozlišuje povrchový a hlubší signál. Algoritmy vyhodnocují rozdíly v absorpci světla na jednotlivých vlnových délkách a filtrují šum vznikající pohybem nebo okolním světlem. SmO_2 je interpretována jako poměr kyslíkem nasycených chromoforů k jejich celkovému množství v kapilární a svalové tkáni.

Jednou z největších předností Moxy je mobilita a použitelnost v reálném tréninku. Zařízení je malé, snadno upevnitelné a propojuje se s tréninkovými platformami přes Bluetooth/ANT+. Umožňuje živý monitoring i detailní analýzu v softwaru, což podporuje opakované testování a porovnávání dat v čase. Validizační studie potvrzují dobrou opakovatelnost, která ale závisí na správné aplikaci senzoru.

Ve srovnání s dalšími systémy (PortaMon, Humon, NNOXX) je Moxy výjimečné univerzálností a jednoduchou obsluhou, i když citlivost na ATT (tloušťku podkožního tuku) a nutnost přesného umístění senzoru zůstávají limitací. Při dodržení standardizace však poskytuje přesné informace o lokální funkci pracujícího svalu.

Moxy má dostatečnou vzorkovací frekvenci pro zachycení i rychlých změn během zátěžových protokolů a díky kombinaci praktičnosti a validace je dnes jedním z nejpoužívanějších zařízení pro měření svalové oxygenace v terénu.

Interpretace SmO₂ a THb v průběhu zátěže

Interpretace dat ze SmO₂ a THb je zásadní pro praktické využití měření NIRS v tréninku i diagnostice. Sleduje se, jak se SmO₂ mění při různých intenzitách, typech zatížení a u různých sportovců. V klidovém stavu je SmO₂ obvykle vysoká (cca 55–80 %), ale s rostoucí intenzitou klesá. Pokud srdce a oběhový systém nezvýší dodávku kyslíku dostatečně rychle, dochází k desaturaci. Rychlost a rozsah poklesu se liší podle trénovanosti, typu svalu i aktuálního stavu organismu.

Změny SmO₂ lze rozdělit do fází: stabilní aerobní stav, přechod s rychlým poklesem a fázi „kolapsu“ při anaerobním zatížení. Ukazatele jako slope (rychlost poklesu SmO₂) vypovídají o schopnosti svalu vyrovnávat se s vyšší potřebou kyslíku. Amplituda (rozdíl mezi klidovou a minimální hodnotou) ukazuje, jak velká část dostupného kyslíku je ve svalu využita. Stabilní SmO₂ při delším zatížení signalizuje dobrou oxidativní kapacitu a efektivní reakci celého kyslíkového transportního systému.

THb odráží změny v průtoku krve – nárůst na začátku aktivity znamená zvýšené prokrvení pracujícího svalu, naopak pokles v maximální intenzitě může souviset s vazokonstrikcí nebo mechanickým stlačením tkání. Kombinace SmO₂ a THb pomáhá odlišit, zda je omezení výkonu způsobené nedostatečnou dodávkou kyslíku, nebo jeho omezeným využitím ve svalu.

Díky těmto trendům lze rozpoznat, zda je hlavním limitujícím faktorem spíše centrální systém (srdce, plíce, oběh) nebo periferní složka (kapilarizace, mitochondrie). Z křivek lze odhadnout, zda sportovec umí udržet aerobní steady-state i ve vyšší intenzitě, jak rychle se dokáže po úseku „regenerovat“ a jak reagují svaly při změně tempa.

V praxi mohou zkušený trenér nebo fyziolog pomocí SmO₂ a THb určit výkonové limity, intenzity tréninku, efektivitu zotavení i varovné signály únavy. Správná interpretace však vyžaduje kombinaci praxe, odborné znalosti a pochopení limitů NIRS technologií.

Testovací protokoly a aplikace v diagnostice

Testování svalové oxygenace vyžaduje přesnou metodiku, která umožní získat reprodukovatelné, validní a srozumitelné výsledky. Významné je zejména sledování dynamiky změn SmO₂ v závislosti na typu i intenzitě zátěže, schopnosti regenerace a tolerance k vyvolané únavě. Mezi nejběžnější protokoly patří primárně Test 5-1-5, dále pak stupňovitý test/ramp test, intervalové protokoly a test rovnovážného stavu / steady-state test.

Test 5-1-5

Cílem testu 5-1-5 je identifikovat nejvýznamnější fyziologické omezení sportovce v systému přenosu a využití kyslíku – zda se jedná o plicní (ventilační), kardiovaskulární (oběhové) nebo svalově-oxidativní (periferní) limity.

Zatímco většina fyziologických testů (např. VO₂max nebo laktátové prahy) hodnotí výkonnost z pohledu maximální kapacity či prahové rovnováhy, test 5-1-5 sleduje mechanismus omezení – tedy proč výkon klesá, nikoli pouze kdy.

Klasické testy určují maximální nebo prahové hodnoty (VO₂max, AEP/ANP, FTP), které sice dobře predikují výkon, ale nepopisují zdravotně-fyziologické pozadí omezení. Test 5-1-5 proto rozšiřuje pohled o

interpretaci reakce jednotlivých systémů – plic, srdce a svalů – v rámci celého okruhu dodávky a využití kyslíku.

Výsledkem je určení dominantní slabiny, která může omezovat adaptaci, a následná možnost přesněji řídit trénink.

Základní princip testu 5-1-5

Test využívá sledování křivek SmO_2 a THb při řízené změně zátěže a následném odpočinku.

Principem je vystavit organismus opakovaně zátěžovým blokům, které trvají dostatečně dlouho na dosažení fyziologické rovnováhy, a poté zaznamenat, jak rychle se obnovuje saturace kyslíkem po ukončení zátěže.

Formát testu je dán názvem 5-1-5:

- **5 minut práce,**
- **1 minuta pasivní pauza,**
- **5 minut práce,**

opakováno ve 4–5 úrovních zátěže.

Každý blok poskytuje detailní informaci o tom, jak rychle se systém přizpůsobí nové intenzitě, jak reaguje mikrocirkulace, a zda je sval limitován dodávkou nebo využitím kyslíku.

Postup testu

Zahájení: Test se provádí bez zahřátí, aby bylo možné sledovat počáteční fázi oxygenace.

- Průběh: Sportovec vykonává práci ve 4–5 stupních zátěže, přičemž každý stupeň obsahuje dvě pětiminutové pracovní fáze oddělené minutovou pauzou.
- Měření: 1–3 senzory Moxly – kontinuální záznam SmO_2 a THb (dominantní pracující sval, případně kontralaterální pro porovnání nebo sval primárně nepracující), volitelně pak doplněno o srdeční frekvenci nebo výkon.
- Odpočinek: Jednominutová pauza je klíčová – umožňuje sledovat resaturační dynamiku a oddělit mechanické vlivy (komprese svalů) od vaskulárních a metabolických efektů.

Na rozdíl od klasického rampového testu se zde střídá zátěž a klid, což umožňuje:

- sledovat rychlost desaturace po začátku zátěže,
- hodnotit resaturaci při náhlém zastavení práce,
- porovnat reakci na opakovaný blok stejné intenzity (únava, kumulace metabolitů),
- rozlišit dodávkové a spotřební složky limitace kyslíku.

Po 5 minutách na každé úrovni má organismus dostatek času k dosažení tzv. homeostázy – orgánové struktury se přizpůsobí novému zatížení.

Když se zátěž náhle ukončí, spotřeba O_2 ve svalu prudce klesá, napětí ve svalových vláknech mizí a objem krve se rychle upraví.

Výběr intenzit

Pro efektivní průběh testu je zásadní zvolit vhodné úrovně zátěže.

Obvykle se používají 4–5 stupňů, které reprezentují:

- **dvě úrovně pod prahem (sub-AEP a AEP),**
- **jednu až dvě nad prahem (ANP až nad-ANP).**

Zátěžové úrovně se poté stanovují přibližně na 45 %, 65 %, 85 %, 105 % a 125 % FTP / 10k pace.

Tím je zajištěno, že test zahrne jak aerobní, tak anaerobní intenzity.

Pokud sportovec nedokáže udržet výkon po celou dobu intervalu, přeruší zátěž, odpočívá 1 minutu a úroveň zopakuje.

Zásady testování

- Sportovec nesmí být unaven z předchozího dne.
- Provádět v kontrolovaném prostředí (teplota, hydratace, čas dne).
- Před testem žádné rozklusání ani warm-up.
- Každá úroveň zátěže by měla umožnit dosažení steady-state (≈ 5 min).
- Pauzy musí být pasivní – bez pohybu.

Výstupy testu

Po dokončení testu se vyhodnocují:

- křivky SmO_2 a THb pro každou úroveň zátěže,
- resaturační čas po přechodu do klidu,
- saturační křivky (při měření více senzorů – pracující/nepracující sval),
- relativní výkonnostní úroveň odpovídající limitaci.

Test poskytuje komplexní obraz o reakci celého systému a doplňuje informace z VO_2 či laktátové diagnostiky o reálné chování svalů v terénu.

Shrnutí

Test 5-1-5 je efektivní metodou pro rozlišení limitujících faktorů vytrvalostního výkonu.

Díky střídání zátěže a odpočinku přináší hlubší vhled do vztahu mezi dodávkou, transportem a spotřebou kyslíku a umožňuje trenérovi:

- identifikovat, který systém je dominantně omezen,
- sledovat adaptaci v průběhu sezóny,
- cílit trénink podle konkrétního fyziologického profilu sportovce.

Identifikace typů limitací

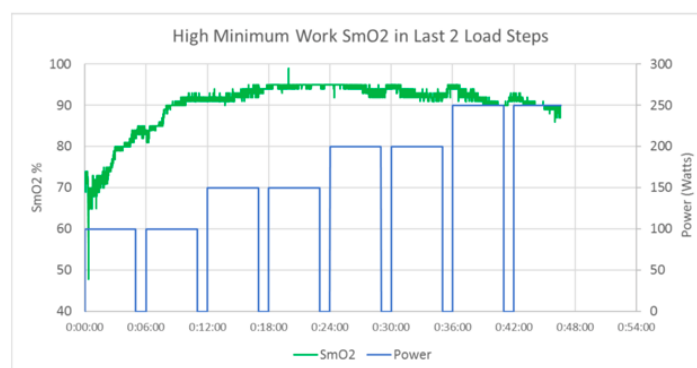
Svalově-oxidativní limitace (Muscle Oxidative Capacity)

Tento typ limitace znamená, že sval nedokáže dostatečně využít dodaný kyslík. Srdce i plíce mohou fungovat správně, ale svalová tkáň postrádá kapacitu pro jeho spotřebu – typicky z důvodu:

- nízké hustoty mitochondrií,
- omezené kapilarizace,
- nedostatečné aktivace svalových vláken.

Projev:

- SmO_2 zůstává vysoké i při vysokých výkonech – sval „neumí“ kyslík spotřebovat,
- THb může být stabilní nebo lehce zvýšené,
- celkově malá desaturace i při zátěži.



Obrázek: SmO_2 vs intenzita

Tento vzorec je běžný u rekreačních nebo začínajících sportovců s nízkou aerobní kapacitou.

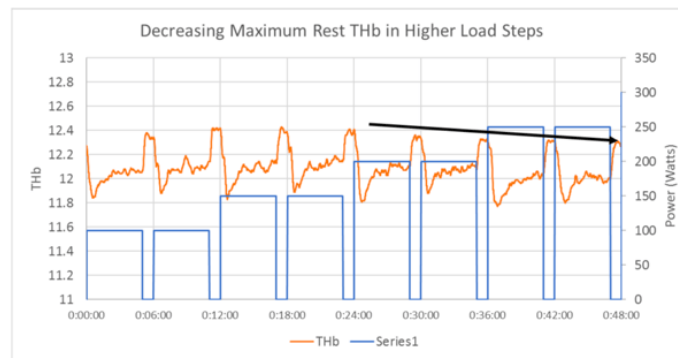
Srdeční limitace (Cardiac Limitation)

Naznačuje, že srdce není schopno zajistit dostatečný průtok oxygenované krve pro pracovní svaly.

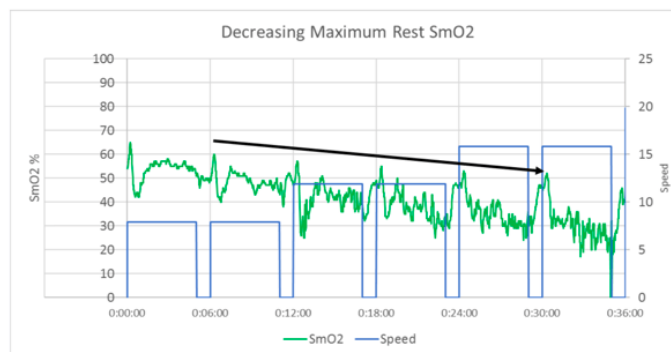
To bývá časté u trénovaných sportovců s vyšší svalovou hmotou, kde dochází k redistribuci krve mezi aktivními a pasivními oblastmi těla.

Projev:

- SmO_2 trvale klesá během celé práce i zotavení,
- THb během minutových pauz klesá (nedochází k přítoku čerstvé krve),
- resaturace je pomalá a nedosahuje výchozích hodnot.



Obrázek: Pokles THb



Obrázek: Pokles saturace SmO_2

Interpretace: srdce není schopno udržet adekvátní srdeční výdej a zásobit sval kyslíkem ani během odpočinku mezi úseky.

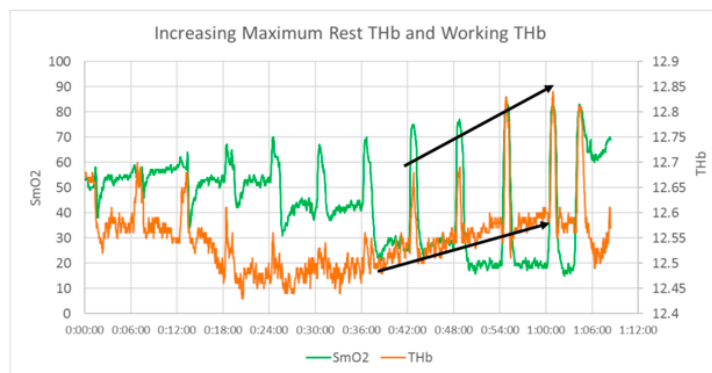
Respirační (plicní) limitace (Pulmonary Limitation)

Plicní limitace se projevuje neschopností buď:

1. efektivně navázat kyslík na hemoglobin, nebo
2. dostatečně a rychle odstranit CO_2 z těla.

SmO_2 i THb vykazují postupný pokles během práce i odpočinku, podobně jako u kardiální limitace. Rozdíl spočívá v chování THb:

- v pozdější fázi testu při přidání zátěže THb stoupá, zatímco SmO_2 dále klesá.

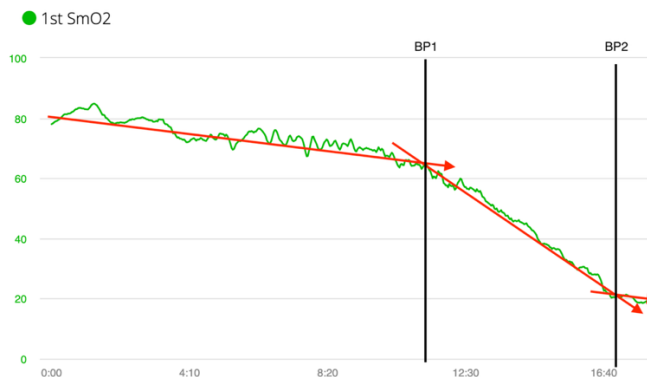


Obrázek: Maximalizace THb v pauzách

Tento průběh je důsledkem hromadění CO_2 , který působí jako silný vazodilatátor – zvyšuje průtok krve (THb), ale zároveň zhoršuje vazbu kyslíku na hemoglobin (SmO_2 dále klesá). Výsledkem je, že krev proudí svaem, ale kyslík se efektivně neuvolňuje do tkáně.

Ostatní testy

Ramp test je plynulý protokol, kde se intenzita neustále zvyšuje až do okamžiku vyčerpání. V průběhu ramp testu jsou klíčové tzv. SmO_2 zlomy (BP1/BP2 – breakpoint), kde dochází k zřetelné změně ve sklonu poklesu saturace kyslíkem: první bod odpovídá hranici aerobního metabolismu, druhý signalizuje přechod do výrazně anaerobního režimu. Korelace těchto bodů s laktátovou křivkou a klasickými prahy umožňuje přesnější individualizaci tréninku.



Obrázek: Pokles saturace SmO_2 při zvýšených nárocích na O_2

Intervalové protokoly testují toleranci k opakovaným zátěžím i schopnost efektivní resaturace v přestávkách. Měření SmO_2 během a po jednotlivých intervalech ukazuje úroveň aerobní rezervy i kapacitu rychlé obnovy kyslíku v rámci krátkých přestávek. Tyto testy jsou užitečné pro sportovce preferující HIIT tréninky, sprintery či sportovce týmových sportů.

Steady-state testy sledují výkon při konstantní intenzitě – zde je hlavním cílem zjistit, zda je sportovec schopný dlouhodobě udržovat SmO_2 nad určitou hranicí, která značí udržitelný aerobní výkon. Pokles pod určenou hranici je signálem nutnosti snížit intenzitu nebo zařadit regenerační fázi.

Výběr intenzit pro každý protokol je individuální: volí se podle FTP (funkční prahová hodnota), běžeckého tempa nebo procenta VO_{2max} , vše úzce spojené se specifikou daného sportu. Neopomenutelná je standardizace prostředí: terénní měření vyžaduje minimalizaci rušivých vlivů, přesné zaznamenání podmínek i stability senzoru.

Testovací protokoly s využitím SmO_2 umožňují trenérům rozpoznat adaptační procesy, optimalizovat tréninkové bloky, včas identifikovat riziko přetížení a efektivně monitorovat individuální progres sportovce. Tyto aplikace jsou základem moderní sportovní diagnostiky a personalizovaného tréninku.

Praktická doporučení pro měření a analýzu

Správná metodika měření je základem využitelnosti dat. Důraz je kladen na volbu svalové skupiny podle sportu: u cyklistů quadriceps nebo hamstring, u běžců lýtkový sval nebo stehno (m. vastus lateralis, m. rectus femoris), u plavců břišní svaly či triceps. Fixace senzoru musí být stabilní a bránit jeho pohybu po pokožce.

Senzor je třeba chránit proti dopadu okolního světla, originál gumovým stínítkem, nebo páskou (kinesiotape) při umístění na sledovaný sval.

Export dat v otevřených formátech (CSV, FIT) umožňuje pokročilou analýzu i archivaci. Při měření více senzorů je nutné vzít v úvahu relativní anatomickou pozici i zapojení svalů ve sledované aktivitě. Nejčastější chyby zahrnují špatnou fixaci, nesprávný výběr místa nebo nedodržení metodiky testu.

Dodržování těchto zásad tvoří základ praktického využití SmO_2 – pouze kvalitní data lze interpretovat a aplikovat v tréninkových plánech.

Limitace měření SmO_2

Limitace nejsou způsobeny jen samotnou fyziologickou odezvou, ale zásadně je ovlivňuje i kvalita techniky, fyzické vlastnosti jedince a okolní podmínky. Pro přesnost a praktickou využitelnost výsledků je klíčové:

- **Tloušťka podkožní tukové tkáně (ATT):** Výrazně ovlivňuje kvalitu signálu. Silnější tuková vrstva pod kůží rozptyluje a absorbuje infračervené světlo, což vede k zeslabení nebo zkreslení naměřené hodnoty. Optimální je měřit na lokalitách s minimální ATT, typicky m. vastus lateralis nebo gm. astrocnemius u běžců. U osob s vyšším podílem tuku je doporučeno hodnotu ATT zapisovat do protokolu nebo volit jiné místo měření.
- **Teplota okolí a tkáně:** Nedostatečně řízená teplota ovlivňuje krevní průtok – při chladu zpomaluje, což způsobuje pokles oxygenace, naopak při horku se průtok zvyšuje a signály se mohou měnit rychleji. Pro validní měření je nutná stabilní teplota (ideálně 18–22 °C), zvláště při dlouhodobých nebo opakovaných studiích.
- **Správná volba svalové skupiny:** Výběr měřeného svalu má zásadní vliv na interpretaci – pro běžce je typické měření na stehně (m. vastus lateralis) při běhu do kopce, při běhu na rovině nebo na špičkách na lýtku (m. gastrocnemius). Samotný pohyb či typ zátěže je nutné reflektovat výběrem lokality, jinak hrozí chybná interpretace limitace.
- **Fixace senzoru, pohybové artefakty:** Pohyb senzoru (kvůli pocení, nedostatečné fixaci nebo rotaci) způsobuje rušení signálu. Senzor musí být důkladně zafixován elastickou páskou nebo sportovním černým páskem, ideálně přímo na oholené a očištěné kůži.
- **Hydratace, stav pokožky a lokalita:** Dehydratace vede ke změně prokrvení, kožní onemocnění, jizvy nebo pigmentace mění absorpci světla. Záznam o hydrataci a zdravotním stavu pokožky by měl být součástí protokolu.
- **Motivace a skutečná únava sportovce:** Psychický stav a aktuální únava ovlivňují dosažené výkony v testech, což může zkreslit interpretaci limitace. U dětí nebo amatérů je tento faktor zvláště důležitý.
- **Software a záznam dat:** Různé modely snímačů NIRS mají různou citlivost a algoritmy výpočtu. Interpretace má smysl vždy pouze v rámci jednoho softwaru a při standardizovaném exportu.

Pokročilé aplikace a integrace

- Využití měření SmO_2 se v posledních letech posunulo z laboratorních podmínek do běžné sportovní praxe. Jednou z nejvýznamnějších aplikací je tvorba individuálních tréninkových zón přímo podle reakce svalové saturace. Na rozdíl od zón podle tepu nebo výkonu vyjadřuje SmO_2 skutečnou fyziologickou odezvu konkrétního svalu, tedy to, jak efektivně přijímá a využívá kyslík při různém zatížení nebo únavě.
- SmO_2 umožňuje i biofeedback – okamžitou zpětnou vazbu během výkonu. Sportovec může upravit intenzitu podle poklesu saturace, lépe regulovat tempo a vyhnout se přetížení. Tato možnost výrazně zvyšuje přesnost autoregulace, například když běžec hlídá pokles SmO_2 v lýtku při tempové zátěži.

- Velký přínos má integrace SmO_2 s dalšími ukazateli, jako je VO_2 , výkon, laktát nebo tep. Kombinované testy, které sledují SmO_2 zároveň s výkonnostními parametry, poskytují komplexní obraz o stavu organismu a pomáhají přesně odlišit aerobní i nastupující anaerobní režim i ideální intenzity tréninku.
- SmO_2 je také citlivým ukazatelem regenerace a únavy. Rychlost, s jakou se po zátěži vrací k výchozím hodnotám, vypovídá o aktuální regenerační kapacitě. V praxi se používá regulace intervalů podle resaturace, což umožňuje přizpůsobit délku pauz momentálnímu stavu sportovce.
- Dlouhodobé sledování trendů SmO_2 odhaluje změny v kapilarizaci, mitochondriální kapacitě i celkové efektivitě kyslíkového metabolismu. Propojení NIRS dat s tréninkovým softwarem umožňuje detailní analýzy, hledání slabých míst i predikci rizika přetížení.
- SmO_2 monitoring nachází široké uplatnění v triatlonu, cyklistice, běhu, týmových sportech i silovém tréninku. Pomáhá sledovat zapojení různých svalových skupin, hodnotit jejich reakci na zátěž a lépe řídit trénink v terénu i v laboratoři.

Závěr a metodické doporučení

Monitorování SmO_2 pomocí NIRS tvoří základ moderní sportovní diagnostiky i tréninku. Umožňuje individualizovat tréninkovou intenzitu, správně nastavit zóny a dlouhodobě sledovat adaptaci a regeneraci. Klíčová je systematická práce s daty, pravidelný monitoring a integrace výsledků do komplexního tréninkového systému.

Doporučené postupy zahrnují vstupní testy, kontrolní měření, využití SmO_2 při optimalizaci tréninku i regeneraci. Edukace trenérů, sportovců a vědců je předpokladem správného pochopení a aplikace metody.

Literatura

- Barstow T.J. (2019). Understanding NIRS in exercise physiology. *Med Sci Sports Exerc*, 51(10), 2156–2168.
- Barstow T.J., Jones A.M. (2018). Control of muscle oxygenation during exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 50(11), 2339–2350.
- Bellotti C. et al. (2020). Integration of NIRS and VO_2 data in athletes. *Sports Med*, 50(7), 1249–1264.
- Boone J. et al. (2016). Muscle oxygen desaturation and performance. *Eur J Appl Physiol*, 116(10), 1959–1971.
- Boone J., Barstow T.J. (2020). Muscle oxygen dynamics and training adaptation. *Eur J Appl Physiol*, 120, 2337–2354.
- Born D.P., Faiss R. (2019). Monitoring muscle oxygenation in sports. *Front Physiol*, 10:1532.
- Born D.P., Stöggl T. (2021). Monitoring training load with NIRS. *Int J Sports Physiol Perform*, 16(5), 673–685.
- Crum E.M. et al. (2017). Validity of the Moxy monitor. *Eur J Sport Sci*, 17(8), 1037–1043.
- Ferrari M. et al. (2011). Near-infrared spectroscopy and imaging in sport and exercise science. *J Appl Physiol*, 111(5), 1242–1255.
- Ferrari M., Quaresima V. (2020). Near-infrared spectroscopy in clinical and exercise physiology. *Front Physiol*, 11:596010.
- Grassi B., Ferretti G. (2015). Oxygen uptake kinetics. *J Appl Physiol*, 118(10), 1390–1399.
- Hamaoka T. et al. (2007). Muscle oxygenation during exercise. *J Biomed Opt*, 12(6), 062104.
- Jobsis F.F. (1977). Noninvasive infrared monitoring of oxygen sufficiency. *Science*, 198(4323), 1264–1267.
- Joyner M.J., Casey D.P. (2015). Regulation of muscle blood flow during exercise. *Exp Physiol*, 100(12), 1425–1438.
- Koga S. et al. (2015). Dynamic heterogeneity of muscle oxygenation. *J Appl Physiol*, 118(11), 1436–1444.
- Matcher S.J. et al. (1995). Performance comparison of tissue NIRS algorithms. *Anal Biochem*, 227(1), 54–68.
- McManus C.J. et al. (2018). Validation of a portable NIRS device. *Physiol Rep*, 6(5), e13664.
- Neary J.P. (2021). Application of NIRS in athletic monitoring. *Front Physiol*, 12:720381.
- Niemeijer V.M. et al. (2017). *Influence of adipose tissue thickness on NIRS*. *J Biomed Opt*, 22(1), 015006.
- Perrey S., Ferrari M. (2018). *Applications of NIRS in sport*. *Front Physiol*, 9:1236.
- Spencer M.D. et al. (2012). *Portable NIRS device for field measurements*. *Med Sci Sports Exerc*, 44(11), 2297–2304.
- Wagner P.D. (2011). *Oxygen transport pathways in exercise*. *Med Sci Sports Exerc*, 43(4), 642–650.