

# Vyhodnocení kinetiky $\text{VO}_2$ v zotavovací fázi spiroergometrického vyšetření u kardiologicky nemocných – význam a klasifikace

Leona Mířková, František Várnay, Pavel Homolka, Petr Dobšák

*Klinika tělovýchovného lékařství a rehabilitace LF MU a FN u sv. Anny v Brně*

## Souhrn

Článek přehledně popisuje průběh příjmu kyslíku v zotavovací fázi ( $\text{VO}_{2\text{rec}}$ ) spiroergometrického vyšetření. Kinetiku  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  nelze komplexně definovat jediným parametrem. V článku jsou popsány 3 nejčastěji používané metody:  $\%\text{VO}_2\text{-REC}_2$ ,  $\text{T1/2 VO}_{2\text{rec}}$  a  $\text{TC VO}_2$  s detailním popisem postupu jejich analýzy. Na těchto 3 parametrech je také založena námi používaná klasifikace  $\text{VO}_{2\text{rec}}$ . Za základní metodu považujeme  $\%\text{VO}_2\text{-REC}_2$ , protože má prokázaný prognostický význam, a navíc se dá jednoduše stanovit pouze z datového protokolu spiroergometrického vyšetření.  $\%\text{VO}_2\text{-REC}_2$  by měl patřit spolu s  $\text{VO}_{2\text{peak}}$ ,  $\text{VE/VCO}_2$  slope a oscilující ventilací při zátěži (EOV) do základní čtveřice prognostických markerů u pokročilého chronického srdečního selhání.

**Klíčová slova:** chronické srdeční selhání – kinetika  $\text{VO}_2$  recovery – prognóza – spiroergometrické vyšetření

## An assessment of $\text{VO}_2$ kinetics in the recovery phase of cardiopulmonary exercise test in patients with heart disease – importance and classification

### Summary

The article reviews the course of  $\text{VO}_2$  in the phase of recovery kinetics of oxygen uptake ( $\text{VO}_{2\text{rec}}$ ) cardiopulmonary exercise test.  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  kinetics cannot be completely defined using a single parameter. The article describes the three most frequently used methods:  $\%\text{VO}_2\text{-REC}_2$ ,  $\text{T1/2 VO}_{2\text{rec}}$  and  $\text{TC VO}_2$ , and provides detailed procedures of their analysis. The three aforementioned parameters are also at the heart of our classification of  $\text{VO}_{2\text{rec}}$ . The method  $\%\text{VO}_2\text{-REC}_2$  is an essential one, in our view, since its prognostic significance is proven and it can be also easily applied only based on a data record of the cardiopulmonary exercise test.  $\%\text{VO}_2\text{-REC}_2$  should be seen, together with  $\text{VO}_{2\text{peak}}$ ,  $\text{VE/VCO}_2$  slope and exercise oscillatory ventilation (EOV) – as one of the four elementary prognostic markers establishing an advanced chronic heart failure.

**Key words:** cardiopulmonary exercise test – chronic heart failure – prognosis – recovery kinetics of oxygen uptake

### Úvod

V zátěžové fázi spiroergometrického vyšetření se hodnotí řada parametrů, z nichž některé mají u kardiologicky nemocných i prognostický význam – např.  $\text{VO}_{2\text{peak}}$  (maximální dosažený příjem kyslíku),  $\text{VE/VCO}_2$  slope (strmost přímků lineární závislosti minutové ventilace na změnách výdeje oxidu uhličitého) nebo EOV (oscilující ventilace při zátěži). Mezi prognosticky významné parametry hodnocené v zotavovací fázi (recovery) spiroergometrického vyšetření patří také kinetika poklesu příjmu kyslíku ( $\text{VO}_{2\text{rec}}$ ) a kinetika poklesu srdeční frekvence ( $\text{HR}_{\text{rec}}$ ), [graf 1](#). Hodnocení  $\text{HR}_{\text{rec}}$  je velmi jednoduché, za 2 min by měla klesnout srdeční frekvence o 24 tepů a více [\[1,2\]](#).

Pokles srdeční frekvence v zotavovací fázi je odrazem vzájemné rovnováhy vegetativního nervového systému, tedy mírou navození vagotonu, a poklesu aktivity sympatiku. Tento článek by měl nabídnout přehled problematiky týkající se kinetiky příjmu kyslíku v zotavovací fázi spiroergometrického vyšetření, postup analýzy a vytvoření klasifikačního schématu kinetiky  $\text{VO}_{2\text{rec}}$ . V české literatuře není tato problematika přehledně a podrobně zpracována, proto bude uveden detailnější postup vyhodnocení kinetiky  $\text{VO}_{2\text{rec}}$ .

V zotavovací fázi klesají různou rychlostí i ostatní parametry sledované v zátěžové fázi (výdej oxidu uhličitého –  $\text{VCO}_2$ , minutová ventilace – VE, poměr respirační

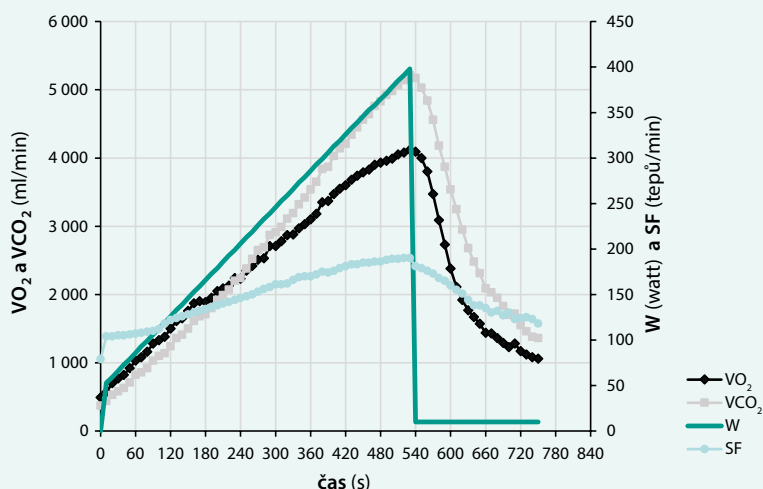
výměny – RER a další odvozené hodnoty), ale jejich kinetika se rutinně nevyhodnocuje.

Délka zotavovací fáze, která se hodnotí při spiroergometrii, bývá zpravidla 3–5 min. Proto minimální délka záznamu recovery by měla být 3 min, optimální 4–5 min, případně ještě delší, pokud lze očekávat významně zpomalenou zotavovací fázi.

### Vyhodnocení kinetiky $\text{VO}_2$ v recovery

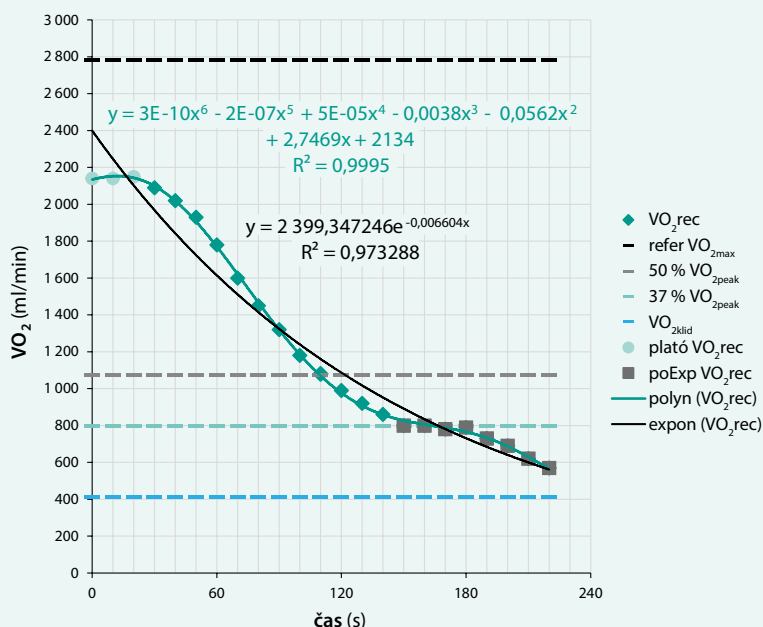
Během zátěžové fáze spiroergometrického testu vzniká kyslíkový dluh, který je v zotavovací fázi postupně uhrázán aerobním metabolismem. Kyslík je v zotavovací fázi potřebný k obnově zásob vysokoenergetických fosfátů (ATP) a kreatinfosfátu (CP), resaturaci myoglobinu a později ke zpracování laktátu (LA).

**Graf 1. Vzorový průběh příjmu kyslíku, výdeje oxidu uhličitého a srdeční frekvence v zátěžové a zotavovací fázi**



$\text{VO}_2$  – příjem kyslíku  $\text{VCO}_2$  – výdej oxidu uhličitého  $W$  – výkon ve wattch  $SF$  – srdeční frekvence

**Graf 2. Graf průběhu příjmu kyslíku v zotavovací fázi spiroergometrického vyšetření**



$\text{VO}_2$  – příjem kyslíku  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  – příjem kyslíku v recovery  $\text{refer VO}_{2\text{max}}$  – predikovaná hodnota maximálního příjmu kyslíku dle Wassermana  $\text{VO}_{2\text{klid}}$  – klidová hodnota příjmu kyslíku  $\text{poExp VO}_{2\text{rec}}$  – průběh příjmu kyslíku po skončení exponenciálního úseku křivky  $\text{VO}_{2\text{rec}}$   $\text{polyn}$  – trendová křivka polynomiální funkce  $\text{expon}$  – exponenciální trendová křivka  $R^2$  – koeficient spolehlivosti

Kinetiku  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  nelze komplexně definovat jediným parametrem. Graficky zobrazený celý průběh  $\text{VO}_2$  během zotavovací fáze má **polynomický charakter** (křivka má více vln), **graf 2**.

Polynomická trendová křivka na **grafu 2** je zobrazena zeleně a je vidět, že shoda datových bodů s trendovou křivkou je dokonalá ( $R^2 = 0,999$ ). Z grafu je zřejmé, že průběh celé  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  neodpovídá černě označené hypotetické exponenciální trendové křivce ( $R^2 = 0,973$ ).

Kinetika  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  má několik fází s odlišným průběhem u zdravých, ale zejména u nemocných.

### Časná fáze $\text{VO}_{2\text{rec}}$ (úsek plató)

Časná fáze  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  (úsek plató) začíná okamžikem ukončení hlavní zátěže. U zdravých osob může začít okamžitě po ukončení hlavní zátěže strmý pokles  $\text{VO}_2$  (**graf 1**), ale u nemocných a nezdědka i u zdravých bývá v této fázi častěji úsek hodnot  $\text{VO}_2$  charakterizovaný jen **mírnými změnami hodnot  $\text{VO}_2$  nepřesahujícími 30 ml/min mezi 2 body při 10sekundových intervalech zobrazení dat**. Takovou iniciální část jsme nazvali **plató  $\text{VO}_{2\text{rec}}$**  (na **grafu 2** je označena kolečky a trvá zde 20 s). Nejméně častým případem je přechodný vzestup hodnot  $\text{VO}_2$  o více než 30 ml/min  $\text{VO}_2$  za 10 s nazývaný jako pokračující vzestup [3], overshoot nebo překmit. Úsek plató končí v místě, kde začíná pokles  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  dosahující rozdílu nejméně 40 ml/min.

Délka plató  $\text{VO}_2$  se v časné fázi recovery stanoví tak, že se v tabulce dat porovnávají po sobě jdoucí hodnoty  $\text{VO}_2$  v recovery a zjistí se, kdy se objeví difference (pokles) mezi dvěma po sobě jdoucími body větší než 30 ml/min (plató tedy končí při poklesu  $\text{VO}_2$  nejméně o 40 ml/min). Délka plató  $\text{VO}_2$  v iniciální části recovery

se může významnou mírou podílet na prodloužení (zpomalení) kinetiky  $\text{VO}_{2\text{rec}}$ .

### Fáze exponenciálního poklesu $\text{VO}_2$ v recovery

Až po ukončení úseku plató začíná strmý pokles  $\text{VO}_{2\text{rec}}$ , který má exponenciální charakter (na **grafu 2** jsou tyto body označeny kosočtverci). Exponenciální pokles  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  může začít u zdravých osob krátce po ukončení hlavní zátěže (iniciální fáze plató je 0–20 s), ale u nemocných může začínat až po 30–60 s trvajícím plató  $\text{VO}_2$ .

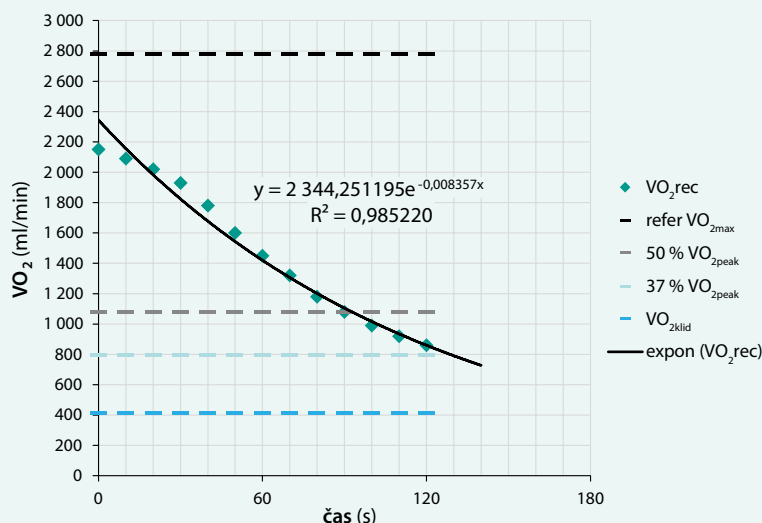
Exponenciální část křivky na **grafu 2** zobrazuje **graf 3**.

Na **grafu 3** je trendová křivka datových bodů  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  označena černou barvou. Má exponenciální charakter a je dobrá shoda mezi datovými body a křivkou (datové body leží na trendové křivce). Mírou shody je koeficient spolehlivosti  $R^2$ , který by měl být pro tento účel  $> 0,97$  (na **grafu 3** je  $R^2 = 0,985$ ).

K hodnocení fáze exponenciálního poklesu  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  je potřebná vypočítaná rovnice exponenciální funkce a zobrazení jejího grafu (**graf 3**). Doba úseku pro konstrukci a hodnocení exponenciální trendové křivky by měla být optimálně 120 s, protože po 120 s od začátku tohoto úseku již trendová křivka průběhu  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  nemusí mít nadále exponenciální charakter, ale spíše polynomický, jak ukazuje **graf 2**. Příslušné body po ukončení exponenciální části křivky jsou v **grafu 2** označeny šedými čtverci a zkratkou poExp  $\text{VO}_{2\text{rec}}$ . Pro ně již neplatí pravidla platná pro exponenciální funkci, resp. křivku.

**Podle exponenciální křivky a její regrese rovnice se hodnotí strmost poklesu  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  v tomto úseku.** Mírou strmosti poklesu  $\text{VO}_2$  je časová konstanta (time constant) monoexponenciální křivky  $\text{VO}_2$  recovery. **Časová**

**Graf 3. Graf exponenciální části křivky poklesu příjmu kyslíku v recovery**



$\text{VO}_2$  – příjem kyslíku  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  – příjem kyslíku v recovery **refer  $\text{VO}_{2\text{max}}$**  – predikovaná hodnota maximálního příjmu kyslíku dle Wassermana  $\text{VO}_{2\text{klid}}$  – klidová hodnota příjmu kyslíku **expon ( $\text{VO}_{2\text{rec}}$ )** – exponenciální část průběhu křivky  $\text{VO}_{2\text{rec}}$   $R^2$  – koeficient spolehlivosti

**konstanta** je obvykle označována jako  $\text{TC VO}_2$  [4], ale v písemnictví jsou uváděny i jiné zkratky např.  $T$  ( $\text{VO}_2$ ) [5],  $\text{EPOCr}$  (excess post-exercise oxygen consumption – time constant) [6],  $t_{\text{Rec}}$  (time constant of recovery) [7],  $t_{\text{Rec VO}_2}$  (time constant of decay of  $\text{VO}_2$ ) [8]. Časová konstanta ( $\text{TC VO}_2$ ) charakterizuje strmost poklesu příjmu kyslíku v recovery a je jednou z metod k hodnocení kinetiky  $\text{VO}_2$  v recovery.

$\text{TC VO}_2$  se vypočítá ze zlomku 1/hodnota exponentu. Na **grafu 3** je  $\text{TC VO}_2 = 1/0,00836 = 120$  (s). Znaménko minus před exponentem znamená, že funkce je klesající.

Exponenciální křivku charakterizují dva důležité parametry (body). Horní bod (na **grafu 3** je 2 344 ml/min) odpovídá místu, kde se exponenciální křivka dotýká osy y (tj. hodnota blíží se  $\text{VO}_{2\text{peak}}$ ), tedy odkud začíná křivka klesat. Druhým parametrem je časová konstanta  $\text{TC VO}_2$ , která určuje čas, za který poklesne  $\text{VO}_2$  na 63 % asymptoty neboli na 37 %  $\text{VO}_{2\text{peak}}$  (na **grafu 3** je  $\text{TC VO}_2$  120 s). Hranice normy  $\text{TC VO}_2$  se v různých studiích liší; jako horní mez se uvádí 120–140 s. Pavia [8] uvádí ve své studii v kontrolní skupině zdravých osob časovou konstantu  $90 \pm 27$  s. Obecně platí, že čím je  $\text{TC VO}_2$  delší, tím je pokles méně strmý a kinetika  $\text{VO}_2\text{rec}$  je pomalejší, tedy horší.

Konstrukce exponenciální křivky a výpočet  $\text{TC VO}_2$  ale není standardní součástí softwarového vybavení spiroergometrie. Vyžaduje export dat ze softwaru počítače řídícího spiroergometrii a následný import do editoru MS Excel nebo jiného speciálního programu, v němž se vytvoří graf, vypočítá rovnice exponenciální funkce a koeficient spolehlivosti  $R^2$  k posouzení míry shody datových bodů a trendové křivky. Celý proces může být i pro zkušeného uživatele s dobrým softwarovým vybavením časově náročný. Takže z praktického hlediska bude vyhrazen zejména pro pracoviště cíleně se zabývající problematikou  $\text{VO}_2$  recovery. **Pro rutinní spiroergometrické vyšetření není výpočet  $\text{TC VO}_2$  nezbytně nutný, pro posouzení kinetiky  $\text{VO}_2\text{rec}$  stačí dva další parametry uvedené níže.**

Kinetiku  $\text{VO}_2\text{rec}$  v časné fázi i ve fázi exponenciálního poklesu lze hodnotit dalšími 2 metodami, k jejichž výpočtu stačí protokol spiroergometrického vyšetření (není třeba konstrukce exponenciální křivky):

1. **Pokles  $\text{VO}_2$  v recovery za 2 minuty vyjádřený v ml/min ( $\text{VO}_2\text{-REC}_2$ ) nebo lépe v procentech ( $\%\text{VO}_2\text{-REC}_2$ )**

Pro výpočet  $\text{VO}_2\text{-REC}_2$  se v protokolu spiroergometrického vyšetření zjistí hodnota  $\text{VO}_{2\text{peak}}$  a aktuální hodnota  $\text{VO}_2$  na konci 2. minuty recovery. Jejich difference **ukazuje o kolik ml/min klesla hodnota příjmu kyslíku z peak hodnoty  $\text{VO}_2$  za 2 min** a vypočítá se podle vzorce:

$$\text{VO}_2\text{-REC}_2 (\text{ml/min}) = \text{VO}_{2\text{peak}} - \text{VO}_2 \text{ v 2. minutě recovery}$$

Prognosticky nepříznivý pro pacienty s chronickým srdečním selháním (dále CHSS) je podle Queiróse [9] pokles  $\text{VO}_2$  ( $\text{difVO}_2$ ) ve 2. minutě zotavení o méně než 8 ml/min/kg. **Názornější a lepší formou, než absolutní hodnota  $\text{VO}_2\text{-REC}_2$ , je procentuální vyjádření poklesu příjmu kyslíku v recovery za 2 min vzhledem k  $\text{VO}_{2\text{peak}}$  ( $\%\text{VO}_2\text{-REC}_2$ ), které se určí podle vzorce:**

$$\%\text{VO}_2\text{-REC}_2 = (\text{VO}_2\text{-REC}_2 / \text{VO}_{2\text{peak}}) \times 100$$

**Ukazuje, o kolik procent klesla hodnota příjmu kyslíku z  $\text{VO}_{2\text{peak}}$  za 2 min [10].** Při normálním průběhu  $\text{VO}_2\text{rec}$  by měl příjem kyslíku poklesnout za 2 min z  $\text{VO}_{2\text{peak}}$  minimálně o 50 %. Pokud je pokles příjmu kyslíku za 2 min < 30 % z  $\text{VO}_{2\text{peak}}$ , jedná se o závažnou poruchu kinetiky  $\text{VO}_2\text{rec}$  se špatnou prognózou u pacientů s pokročilým CHSS. Pokles  $\text{VO}_2\text{rec}$  tohoto stupně má dokonce větší prognostickou významnost než pokles  $\text{VO}_{2\text{peak}} \leq 12$  ml/min/kg [10].

## 2. **Poločas $\text{VO}_2\text{rec}$ ( $T_{1/2} \text{VO}_2\text{rec}$ )**

Nejčastěji je označován zkratkou  $T_{1/2} \text{VO}_2$  [11,12], ale v písemnictví se objevují i jiné zkratky – např.  $1/2p\text{VO}_2$  [7] nebo  $t_{1/2}$  [13]. **Poločas  $T_{1/2} \text{VO}_2\text{rec}$  je čas vyjádřený v sekundách, který je třeba k poklesu  $\text{VO}_2$  na 50 % z  $\text{VO}_{2\text{peak}}$ . Pro jeho stanovení je nutná znalost hodnoty  $\text{VO}_{2\text{peak}}$  a dostupnost všech 21 hodnot  $\text{VO}_2\text{rec}$  za dobu prvních 210 sekund zotavení.** Zjistí se, za jakou dobu klesne  $\text{VO}_2\text{rec}$  na hodnotu odpovídající 50 %  $\text{VO}_{2\text{peak}}$ . Normální čas poklesu  $\text{VO}_2$  na 50 %  $\text{VO}_{2\text{peak}}$  by měl být 110–115 (až 120) s. Prodloužený  $T_{1/2} \text{VO}_2\text{rec}$  svědčí o abnormálním transportu a/nebo využití kyslíku. Zdánlivou limitací by mohlo být, že u výrazně patologicky prodloužené kinetiky je poločas velmi dlouhý, může přesahovat délku 3, nebo dokonce i 5 min, tj. délku obvyklé registrace  $\text{VO}_2$  recovery [10]; ovšem pokud  $\text{VO}_2$  recovery neklesne během 3,5 minut (= 210 s) na 50 %  $\text{VO}_{2\text{peak}}$ , potom jde již stejně o nejhorší klasifikační třídu D ( $T_{1/2} \text{VO}_2\text{rec} > 200$  s).

**Tab. 1. Klasifikační třídy kinetiky příjmu kyslíku v recovery**

třída	stupně zhoršení kinetiky $\text{VO}_2\text{rec}$	$\%\text{VO}_2\text{-REC}_2$ (%)	$T_{1/2} \text{VO}_2\text{rec}$ (sek)	$\text{TC VO}_2$ (sek)
A	normální	$\geq 50$	$\leq 120$	$\leq 135$
B	mírně zpomalená	$\geq 40$ a < 50	$> 120$ a $\leq 150$	$> 135$ a $\leq 165$
C	středně zpomalená	$> 30$ a < 40	$> 150$ a < 190	$> 165$ a $\leq 215$
D	výrazně zpomalená	$\leq 30$	$\geq 190$	$> 215$

$\text{VO}_2\text{rec}$  – příjem kyslíku v recovery  $\%\text{VO}_2\text{-REC}_2$  – pokles příjmu kyslíku v recovery za 2 min vyjádřený jako procento z  $\text{VO}_{2\text{peak}}$   $T_{1/2} \text{VO}_2\text{rec}$  – čas, za který klesne příjem kyslíku v recovery na polovinu z  $\text{VO}_{2\text{peak}}$   $\text{TC VO}_2$  – časová konstanta charakterizující strmost poklesu příjmu kyslíku v recovery

## Klasifikace kinetiky $\text{VO}_2$ v zotavovací fázi spiroergometrického vyšetření

V dostupné literatuře jsme nenašli klasifikaci, která by jednoduchým způsobem charakterizovala kinetiku  $\text{VO}_{2\text{rec}}$ . V několika studiích jsou sice uváděny průměrné hodnoty  $\text{T1/2 VO}_{2\text{rec}}$  a  $\text{TC VO}_2$  u skupin pacientů s ChSS, ale hodnoty se dosti významně liší a skupiny jsou obtížně srovnatelné.

Námi navržená a používaná klasifikace je založena na kombinaci 3 nejčastěji užívaných metod posuzování kinetiky  $\text{VO}_{2\text{rec}}$ , a to  $\% \text{VO}_2\text{-REC}_2$ ,  $\text{T1/2 VO}_{2\text{rec}}$  a  $\text{TC VO}_2$ . Kritéria jednotlivých tříd jsou uvedena v tab. 1. **Za základní metodu považujeme  $\% \text{VO}_2\text{-REC}_2$ , protože má prokázaný prognostický význam** a lze ho stanovit i při registraci recovery trvající relativně krátkou dobu (nejméně 2 min). Fortin [10] ukázal, že pokles  $\text{VO}_2$  na konci 2. min recovery o méně než 30 % z  $\text{VO}_{2\text{peak}}$  je nezávislým ukazatelem morbiditu a mortality u pacientů s pokročilou formou ChSS. Touto hodnotou je charakterizována naše klasifikační třída D. Na druhé straně pokles  $\text{VO}_2$  více než o 50 % z  $\text{VO}_{2\text{peak}}$  na konci 2. min recovery odpovídá normální kinetice  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  (naše klasifikační třída A).

K ověření použitelnosti této navržené klasifikace jsme provedli podrobnou analýzu kinetiky  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  u 69 spiroergometrických vyšetření provedených na našem pracovišti. Z toho bylo 11 vyšetření zdravých sportovců sloužících jako kontrolní skupina pro stanovení třídy A a 58 vyšetření kardiologických pacientů v období od dubna do listopadu roku 2016. Byli to pacienti zařazení do ambulantního programu kardiiovaskulární rehabilitace, který na našem pracovišti probíhá již 18 let [14].

Všichni vyšetřovaní absolvovali rampový spiroergometrický test na bicyklovém ergometru (Ergoselect, Ergoline) s analyzátozem krevních plynů (Power Cube, Ganshorn Medizin Electronic) a se záznamem 12svodového EKG (AT-104 PC, Schiller). Spiroergometrický test byl proveden do symptomu limitovaného maxima rampovým protokolem s takovou strmostí vzestupu zátěže, aby byl zátěžový test ukončen po 8 až 12 min. Po ukončení zátěžové fáze spiroergometrického vyšetření pokračovala zotavovací fáze trvající průměrně 3,5 min s nepřerušovanou registrací respiračních parametrů. U velmi výkonných sportovců byla preferována aktivní

recovery s nízkou zátěží (10 % z maximální zátěže), u pacientů pasivní recovery (loadless pedaling při zátěži 0 W).

Výstupní data ze spiroergometrie byla prezentována v 10sekundových intervalech umožňujících dostatečně detailní zobrazení průběhu recovery (delší intervaly – např. 30 s – jsou nevhodné pro správnou a dostatečně detailní analýzu).

Po ukončení zátěžové fáze testu, kromě obvyklého způsobu vyhodnocení, byla provedena navíc podrobná analýza kinetiky  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  všemi 3 výše popsanými metodami. Výpočet  $\% \text{VO}_2\text{-REC}_2$  a  $\text{T1/2 VO}_{2\text{rec}}$  byl proveden z datové tabulky. Pro hodnocení  $\text{TC VO}_2$  byla data exportována do editoru MS Excel (verze 2016), provedena konstrukce grafu průběhu  $\text{VO}_{2\text{rec}}$ , výpočet regresních rovnic, koeficientu spolehlivosti  $R^2$  a kalkulace  $\text{TC VO}_2$ . Na základě dosažených hodnot byla dle kritérií uvedených v tab. 1 provedena klasifikace kinetiky  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  pro každou metodu samostatně.

Do závěrečného hodnocení byla zahrnuta jen spiroergometrická vyšetření ukončená s dostatečným metabolickým vytižením (poměr respirační výměny  $\text{RER}_{\text{peak}} \geq 1,10$ ). Vyloučeno bylo 14 vyšetření, u kterých byl test ukončen při neúplném metabolickém vytižení ( $\text{RER}_{\text{peak}} < 1,10$ ). V této skupině byly klasifikační třídy  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  určené při submaximální zátěži zastoupeny následovně: třída A byla 7krát, třída B 4krát, C 1krát, D 2krát. Jediným důvodem vyřazení těchto 14 testů ze statistického zpracování bylo, aby předčasně ukončené zátěžové testy nezkrátily dosaženou hodnotu  $\text{VO}_{2\text{peak}}$ , a tím procento z referenční hodnoty  $\text{VO}_{2\text{max}}$  v jednotlivých třídách. Určené klasifikační třídy  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  jsou totiž platné i při submaximální zátěži, protože kinetika  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  u submaximálních testů ( $\text{RER}_{\text{peak}} 1,00\text{--}1,09$ ) je srovnatelná s kinetikou  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  testů s maximálním metabolickým vytižením [10].

Tab. 2 ukazuje, že se vzrůstající tíží poruchy kinetiky  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  (posuzované dle klasifikačních tříd) klesá maximální aerobní kapacita (dosažené % predikované  $\text{VO}_{2\text{max}}$  dle Wassermana) [15]. Prodlužuje se délka platů  $\text{VO}_2$  v časné fázi recovery (třída A má délku plátů 0–20 s oproti 30–60 s plátů u třídy C a D). Zhoršení kinetiky  $\text{VO}_2$  v recovery se projeví zpomaleným poklesem

**Tab. 2. Klasifikace vyšetřovaných osob dle parametrů sledovaných v zotavovací fázi spiroergometrického vyšetření**

třída dle $\% \text{VO}_2\text{-REC}_2$	počet	věk (roky)	$\text{VO}_{2\text{peak}}$ jako % z predikované $\text{VO}_{2\text{max}}$	délka plátů $\text{VO}_2$ v časné recovery (s)	$\% \text{VO}_2\text{-REC}_2$	$\text{T1/2 VO}_2$ (s)	$\text{TC VO}_2$ (s) (odečteno z grafu)
A	18	54 ± 10,9	88 % ± 17 %	22 ± 7	55 % ± 3 %	109 ± 8,0	120 ± 10,1
B	17	64 ± 10,6	80 % ± 13 %	26 ± 11	45 % ± 3 %	139 ± 14,9	152 ± 17,4
C	6	71 ± 6,7	78 % ± 11 %	47 ± 10	36 % ± 2 %	166 ± 14,3	164 ± 12,1
D	3	69 ± 2,1	64 % ± 3 %	40 ± 17	27 % ± 2 %	217 ± 37,9	262 ± 24,2
A (kontrolní) sportovci	11	24 ± 4,5	122 % ± 18 %	6 ± 5	59 % ± 5 %	93 ± 15,5	178 ± 13,4

$\% \text{VO}_2\text{-REC}_2$  – pokles příjmu kyslíku v recovery za 2 min vyjádřený jako procento z  $\text{VO}_{2\text{peak}}$ ,  $\text{T1/2 VO}_{2\text{rec}}$  – čas, za který klesne příjem kyslíku v recovery na polovinu z  $\text{VO}_{2\text{peak}}$ ,  $\text{TC VO}_2$  – časová konstanta charakterizující strmost poklesu příjmu kyslíku v recovery



$\text{VO}_{2\text{rec}}$  za 2 min, tj. snižováním  $\%\text{VO}_2\text{-REC}_2$  a prodloužováním  $\text{T1/2 VO}_{2\text{rec}}$  i  $\text{TC VO}_2$ .

Při hodnocení kinetiky  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  podle všech 3 uvedených metod jsme také sledovali, zda bude u konkrétního pacienta shoda jednotlivých klasifikačních tříd (např. B–B–B).

Z 55 hodnocených spiroergometrických testů byla úplná shoda všech 3 klasifikačních tříd ve 47 případech (85 %). Ve zbývajících 8 případech byla shoda 2 klasifikačních tříd, 3. třída odpovídala sousedící třídě (např. A–A–B) – v těchto případech byla celková klasifikace u daného pacienta určena dle většinového pravidla. Nikdy se nestalo, že by se klasifikační třídy lišily o 2 stupně (např. A–A–C). Z 55 vyšetření byla v 53 případech (96 %) výsledná klasifikace shodná s klasifikací dle metody  $\%\text{VO}_2\text{-REC}_2$ .

### Která metoda hodnocení $\text{VO}_{2\text{rec}}$ je tedy nejlepší?

- Metoda  $\%\text{VO}_2\text{-REC}_2$**  poskytuje dobrý obraz kinetiky  $\text{VO}_2$  v recovery a pro běžnou praxi je **vhodná jako základní metoda** k hodnocení míry poklesu  $\text{VO}_2$  v recovery. Hodnota  $\%\text{VO}_2\text{-REC}_2$  sice není přímo uvedena v protokolu spiroergometrického vyšetření, lze ji však snadno vypočítat. K výpočtu stačí najít v protokolu spiroergometrického vyšetření pouze 2 hodnoty, a to  $\text{VO}_{2\text{peak}}$  a aktuální hodnotu  $\text{VO}_2$  ve 2. minutě zotavení. Diference těchto 2 hodnot je vyjádřením  $\text{VO}_2\text{-REC}_2$  v absolutní hodnotě (ml/min), z které se pak určí poměr difference k  $\text{VO}_{2\text{peak}}$  a tím  $\%\text{VO}_2\text{-REC}_2$ . **Metoda  $\%\text{VO}_2\text{-REC}_2$  má navíc prognostický význam** u pacientů s pokročilým CHSS, u kterých by měla být standardně použita.
- Metoda stanovení poločasu  $\text{T1/2 VO}_{2\text{rec}}$**  vyžaduje dostupnost všech hodnot  $\text{VO}_2$  za dobu prvních 210 sekund zotavení. Zdánlivou limitací této metody by mohlo být, že u výrazně patologicky prodloužené kinetiky je poločas velmi dlouhý, může přesahovat délku obvyklé registrace  $\text{VO}_2$  recovery. Ovšem pokud  $\text{VO}_2$  recovery neklesne během 3,5 minut (210 s) na 50 %  $\text{VO}_{2\text{peak}}$ , potom se jedná již stejně o nejhorší klasifikační třídu D, u které je  $\text{T1/2 VO}_{2\text{rec}} > 200$  s. Proto minimální 3,5minutová doba registrace zotavovací fáze umožní určení klasifikační třídy i metodou stanovení poločasu  $\text{T1/2 VO}_2$ .
- Metoda stanovení  $\text{TC VO}_2$**  je obtížnější, pro rutinní použití méně vhodná.

K posouzení kinetiky  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  není potřeba dosažení maximálního metabolického vyčerpání při spiroergometrickém vyšetření. Kinetika  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  u submaximálních testů ( $\text{RER}_{\text{peak}} < 1,10$ ) je srovnatelná s kinetikou  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  testů s maximálním metabolickým vyčerpáním, což umožňuje vyhodnotit  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  i u pacientů s předčasně ukončeným zátěžovým testem [10].

### Závěr

V dostupné literatuře jsme nenašli klasifikaci, která by jednoduchým způsobem charakterizovala kinetiku  $\text{VO}_{2\text{rec}}$ .

Námi navržená a používaná klasifikace je založena na 3 nejčastěji užívaných parametrech kinetiky  $\text{VO}_{2\text{rec}}$ , a to  $\%\text{VO}_2\text{-REC}_2$ ,  $\text{T1/2 VO}_{2\text{rec}}$  a  $\text{TC VO}_2$ . Při rutinním vyšetření považujeme za základní metodu  $\%\text{VO}_2\text{-REC}_2$ , protože má prokázaný prognostický význam a je stanovitelná jednoduchým výpočtem při alespoň 2minutové (lépe však 3minutové) registraci  $\text{VO}_{2\text{rec}}$ . Druhou, doplňující metodou je  $\text{T1/2 VO}_{2\text{rec}}$ . Komplikovanější stanovení  $\text{TC VO}_2$  lze zvážit v případech, kdy se klasifikace  $\text{VO}_{2\text{rec}}$  podle uvedených dvou metod liší a zejména při závažnějším zhoršení kinetiky  $\text{VO}_{2\text{rec}}$ , při zvýšeném  $\text{VE/VCO}_2$  slope nebo oscilující ventilaci při zátěži (EOV). Je-li pacientovi indikováno spiroergometrické vyšetření z důvodu posouzení funkčního stavu včetně prognózy, pak by nedílnou součástí spiroergometrického protokolu měla být zotavovací fáze s analýzou vydechovaných plynů.

### Literatura

- Guazzi M, Adams V, Conraads V et al. EACPR/AHA Scientific Statement. Clinical Recommendations for Cardiopulmonary Exercise Testing Data Assessment in Specific Patient Populations. Eur Heart J 2012; 33(23): 2917–2927. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1093/eurheartj/ehs221>>.
- Guazzi M, Ross A, Halle M et al. EACPR/AHA Scientific Statement. 2016 Focused Update: Clinical Recommendations for Cardiopulmonary Exercise Testing Data Assessment in Specific Patient Populations. Circulation 2016; 133(24): e694–e711. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1161/CIR.0000000000000406>>.
- Daida H, Allison TG, Johnson BD et al. Further Increase in Oxygen Uptake During Early Active Recovery Following Maximal Exercise in Chronic Heart Failure. Chest 1996; 109(1): 47–51.
- Kriatselis ChD, Nedios S, Kelle S et al. Oxygen Kinetics and Heart Rate Response during Early Recovery from Exercise in Patients with Heart Failure. Cardiol Res Pract 2012; 2012 :512857. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1155/2012/512857>>.
- Hayashida W, Kumada T, Kohno F et al. Post-exercise oxygen uptake kinetics in patients with left ventricular dysfunction. Int J Cardiol 1993; 38(1): 63–72.
- Mann TN, Webster Ch, Lamberts TP et al. Effect of exercise intensity on post-exercise oxygen consumption and heart rate recovery. Eur J Appl Physiol 2014; 114(9): 1809–1820. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00421-014-2907-9>>.
- DeGroot P, Millaire A, Decloux E et al. Kinetics of Oxygen Consumption During and After Exercise in Patients With Dilated Cardiomyopathy. New Markers of Exercise Intolerance With Clinical Implications. J Am Coll Cardiol 1996; 28(1): 168–175.
- Pavia L, Myers J, Cesare R. Recovery Kinetics of Oxygen Uptake and Heart Rate in Patients With Coronary Artery Disease and Heart Failure. Chest 1999; 116(3): 808–813.
- Queirós MC, Mendes M, Ribeiro MA et al. Recovery kinetics of oxygen uptake after cardiopulmonary exercise test and prognosis in patients with left ventricular dysfunction. Rev Port Cardiol 2002; 21(4): 383–398.
- Fortin M, Turgeon PY, Nadreau E et al. Prognostic Value of Oxygen Kinetics during Recovery From Cardiopulmonary Exercise Testing in Patients With Chronic Heart Failure. Can J Cardiol 2015; 31(10): 1259–1265. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cjca.2015.02.015>>.
- Tanabe Y, Takahashi M, Hosaka Y et al. Prolonged recovery of cardiac output after maximal exercise in patients with chronic heart failure. J Am Coll Cardiol 2000; 35(5): 1228–1236.
- Cohen-Solal A, Laperche T, Morvan D et al. Prolonged Kinetics of Recovery of Oxygen Consumption after Maximal Graded Exercise in Patients With Chronic Heart Failure. Analysis with Gas Exchange Measurements and NMR Spectroscopy. Circulation 1995; 91(12): 2924–2932.

13. Hagberg JM, Mullin JP, Nagle FJ. Effect of work intensity and duration on recovery  $\dot{V}O_2$ . J Appl Physiol 1980; 48(3): 540–544.

14. Mífková L, Siegelová J, Vymazalová L et al. Intervalový a kontinuální trénink v kardiiovaskulární rehabilitaci. Vnitř Lék 2006; 52(1): 44–50.

15. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY et al. Principles of Exercise Testing and Interpretation. Including Pathophysiology and Clinical Applications. 5th ed. Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia 2012. ISBN 978–1609138998.

**Mgr. Leona Mífková, Ph.D.**

✉ [leona.mifkova@fnusa.cz](mailto:leona.mifkova@fnusa.cz)

Klinika tělovýchovného lékařství a rehabilitace LF MU a FN u sv. Anny v Brně

[www.fnusa.cz](http://www.fnusa.cz)

Doručeno do redakce 7. 12. 2016

Přijato po recenzi 20. 1. 2017

Organized by



Endorsed by



# SATELLITE TO THE 85<sup>TH</sup> EAS CONGRESS

## PAEDIATRIC FAMILIAL HYPERCHOLESTEROLEMIA: 2017 UPDATE

27<sup>TH</sup> APRIL 2017

PRAGUE

KC VAVRUSKA, KARLOVO NÁM. 5



[WWW.PAEDIATRIC-FH-SATELLITE.ORG](http://WWW.PAEDIATRIC-FH-SATELLITE.ORG)