

METODICKÝ LIST: MĚŘENÍ LAKTÁTOVÉ KŘIVKY

Zpracoval Ing. Mgr. Jan Kubeš

Fyziologický základ laktátu

Laktát je látka, která vzniká při zpracování cukrů ve svaích během pohybové aktivity. Tělo ji produkuje přirozeně při jakékoli svalové práci – nejde tedy o „odpadní“ produkt, jak se často tvrdí, ale o důležitou součást energetického systému těla.

Laktát má v těle několik důležitých funkcí:

- **Slouží jako palivo** – mnoho orgánů (například srdce, játra nebo mozek) dokáže laktát přímo využívat jako zdroj energie. Tělo si jej tedy mezi různými částmi předává a využívá podle potřeby.
- **Udržuje rovnováhu vnitřního prostředí** – Přeměna pyruvátu na laktát umožňuje obnovu NAD^+ , což je nezbytné pro pokračování glykolýzy a tvorby energie při vyšší intenzitě zatížení. Současně může být laktát následně transportován a využit jako zdroj energie v jiných tkáních.
- **Souvisí se změnami vnitřního prostředí** – při vyšší intenzitě zatížení roste množství vodíkových iontů (H^+) v krvi a dochází k poklesu pH. Laktát vzniká současně s těmito procesy a slouží jako prostředník v energetickém metabolismu, nikoli jako příčina tzv. „překyselení“.

Za běžných podmínek je hladina laktátu v krvi nízká (kolem 1 mmol/l). Při intenzivním zatížení ale začne růst – svaly ho produkují více než tělo stačí zpracovat. Právě to využíváme v diagnostice, kde sledujeme, při jakém výkonu se hladina laktátu začne zvyšovat, a jak rychle.

Tato hodnota se u každého sportovce liší. Záleží na trénovanosti, objemu svalové hmoty, způsobu zapojení svalů nebo efektivitě dýchání a krevního oběhu.

Z pohledu trenéra je sledování laktátu užitečný způsob, jak vyhodnotit, jak tělo zvládá zatížení a kde má své limity. Laktát nám pomáhá odhalit intenzity zatížení a lépe nastavit trénink, například určit, jak rychle běžet při tempovém běhu, při dlouhém vytrvalostním běhu nebo v opakovaných úsecích.

Popis a cíl testu laktátové křivky

Laktátová křivka ukazuje, jak tělo reaguje na rostoucí zátěž a kdy přechází z převažujícího aerobního do převažujícího anaerobního metabolismu – tedy v bodě, kdy tvorba laktátu převyšuje jeho odbourávání. Tento bod se označuje jako **laktátový práh**.

Test probíhá nejčastěji na běžeckém pásu nebo oválu. Zátěž se zvyšuje po předem stanovených krocích (např. každé 4–7 min) a po každém stupni se odebere krev z ušního lalůčku nebo prstu

na měření laktátu. Zaznamenává se také srdeční frekvence a vnímání námahy (RPE – Rate of Perceived Exertion).

Výsledná křivka ukazuje vztah mezi intenzitou zátěže a koncentrací laktátu. Zlom v křivce signalizuje vyšší zapojení anaerobního režimu, respektive vyčerpání aerobního režimu,

Test může sloužit k více účelům:

- **Stanovení tréninkových zón** – na základě průběhu křivky lze přesněji určit intenzitu tempových běhů, intervalů nebo regeneračních tréninků.
- **Hodnocení adaptace na trénink** – opakováním testu v čase můžeme sledovat, jak či zda se posouvá laktátový práh, a vyhodnotit účinnost tréninku.
- **Predikce výkonnosti** – existuje úzký vztah mezi pozicí laktátového prahu a výkonností v trati 5 km až maraton.
- **Porovnání sportovců** – test umožňuje srovnávat výkonnostní úroveň mezi sportovci.

Test laktátové křivky je v současnosti jedním nejpoužívanějších terénních či laboratorních nástrojů pro stanovení individuální odezvy těla na zátěž.

Protokol testu – provedení, variace, doporučení (běh)

Test laktátové křivky u běžců slouží ke stanovení vztahu mezi rychlostí běhu a tvorbou laktátu ve svalech. Nejčastěji se provádí na běžeckém pásu v laboratorních podmínkách, případně v terénu s využitím přenosného laktátoměru. Hlavním cílem testu je určit, při jaké rychlosti dochází k nárůstu koncentrace laktátu v krvi, a následně vyhodnotit aerobní a anaerobní prahy.

Základní princip testu

- Test je strukturovaný jako **stupňovaná zátěž**:
- Běžec začíná na nízké rychlosti, která nesmí přesáhnout AEP (aerobní práh).
- Každé 4-7 minuty se rychlost zvyšuje o pevný přírůstek. Ten je stanoven podle úrovně běžce.
- Na konci každého stupně se odebere krev z ušního lalůčku (nebo prstu) a změří se koncentrace laktátu.
- Zároveň se zaznamenává srdeční frekvence a subjektivní vnímání námahy.

Délka stupňů a jejich počet

- Doporučená délka stupně: 4-7 minut – dostačující pro dosažení ustáleného stavu.
- Celkový počet stupňů: obvykle 6–8, podle trénovanosti běžce.
- Celková doba testu: 24–40 minut.

Nastavení pásu

- Sklon pásu: 1 %.
- Počáteční rychlost: podle výkonnosti (viz tabulka níže).
- Přírůstek rychlosti: 0,5–1,0 km/h.

Test končí buď dosažením subjektivního maxima, nebo po výrazném nárůstu laktátu (např. nad 8 mmol/l), případně při zřetelné změně běžecké techniky či únavě.

Příprava před testem

- Poslední lehké jídlo cca 2–3 hodiny předem.
- Bez těžkého tréninku v předchozích 24 hodinách.
- Dobře hydratovaný, vyspalý.
- Bez kofeinu a stimulantů minimálně 4 hodiny před testem.
- Vhodné běžecké boty, sportovní oblečení, ručník.

Protokol odběru krve

- Vzorek se odebírá ihned po dokončení každého stupně.
- Používá se kapilární krev – nejčastěji z ušního lalůčku (případně z prstu).
- Je důležité zajistit suché místo odběru (pot výrazně ovlivňuje měření!).

Specifika u mládeže a disciplín

- Mladší závodníci (dorost-junior): začínat na nižší rychlosti s přírůstkem (dle výkonnosti 0,5–1,5 km/h), méně stupňů, hlídat celkový objem testu.
- Sprinteři: protokol nedoporučuje zátěže nad anaerobním prahem – vhodnější jsou jiné testy (např. opakované sprinty).
- Vytrvalci 5 000 m – maraton: protokol s větším počtem stupňů v nižších intenzitách pro přesné určení $AEP=LT1/ANP=LT2$.

Provedení v terénu

Alternativně lze test provést v terénu:

- Na rovinném okruhu 400–1000 m.
- Každý stupeň představuje jeden úsek (např. 4–7 min běhu v daném tempu).
- Tempo hlídá trenér nebo sporttester.
- Měření laktátu se provádí na konci každého úseku (v klidu).

Výhodou laboratorního testu je kontrolované prostředí. Terénní test je však více specifický pro běžce, kteří netrénují na páse.

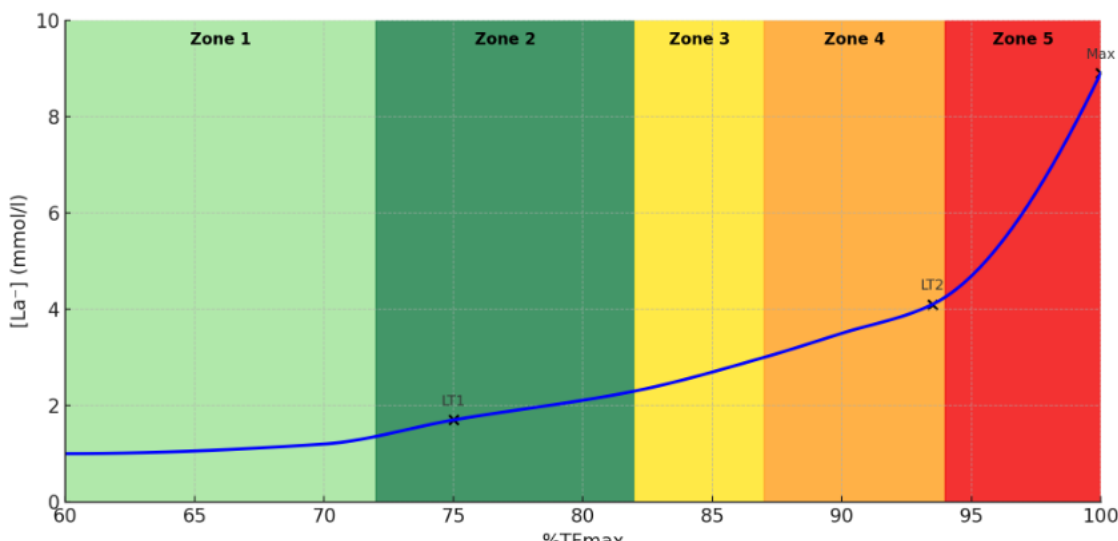
Interpretace výsledků a využití v běžeckém tréninku

Interpretace laktátové křivky umožňuje trenérům hlubší pochopení, jak sportovec zvládá různé úrovně zátěže a kde leží jeho individuální prahy – tedy momenty, kdy se metabolismus překlápí z aerobní převahy do anaerobního režimu. To má přímý vliv na plánování tréninku, závodní strategii i sledování pokroku.

Typický tvar křivky

Při správném testu by měla být křivka:

- v prvních stupních téměř vodorovná (nízký laktát – efektivní odbourávání),
- následně mírně stoupající (blížíme se k aerobnímu prahu, $AEP/LT1$),
- a poté prudce rostoucí (po překročení anaerobního prahu, $ANP/LT2$).



U výkonných běžců bývá tento přechod posunut směrem k vyšším rychlostem, zatímco u začátečníků nebo po pauze naopak velmi brzy.

Klíčové body interpretace

- AEP (aerobní práh/LT1): První znatelný nárůst laktátu nad klidové hodnoty. Určuje spodní hranici tempového tréninku a vytrvalostního zatížení.
- ANP (anaerobní práh/LT2): Prudší zlom ve stoupání křivky (individuální hodnota). Intenzita, kterou lze udržet 30–60 minut. Klíčová pro tempový běh, závodní tempo, rozvoj laktátové tolerance.
- MLSS: Maximální laktátový stabilní stav je definován jako nejvyšší koncentrace laktátu v krvi a současně nejvyšší úroveň zátěže, které lze udržet po určitou dobu bez trvalého zvyšování koncentrace laktátu v krvi.

Jak použít výstup v tréninku

- Vytrvalostní běhy: pod AEP (např. 70–75 % HRmax), s cílem podpořit efektivitu oxidativního metabolismu a regeneraci.
- Tempové běhy a intervaly: mezi AEP a ANP. Rozvoj schopnosti využívat laktát jako palivo, zvyšování prahu.
- Specifické intervaly (např. 6×5 min): lehce nad ANP – cílený rozvoj tolerance a clearance laktátu, příprava na závodní tempo.
- Regenerace a kompenzace: výrazně pod AEP – aerobní regenerace, adaptace bez stresu.

Omezení a chyby při testování

Test laktátové křivky patří mezi nejpresnější dostupné diagnostické nástroje pro řízení vytrvalostního tréninku, přesto má řadu omezení. Tyto limity je nutné znát, aby výsledky nebyly nesprávně interpretovány nebo aplikovány mimo kontext. Nejčastější faktory lze rozdělit do tří skupin: fyziologické, technické a organizační.

Fyziologické faktory

Výsledky testu zásadně ovlivňuje aktuální fyziologický stav sportovce. Mezi hlavní faktory patří:

- **Glykogenová zásoba:** nízká zásoba svalového glykogenu (např. po dlouhém tréninku či dietě) může vést ke snížené glykolytické aktivitě, a tedy nižší tvorbě laktátu.
- **Hydratace a termoregulace:** nedostatečná hydratace nebo zvýšená teplota prostředí snižují objem plazmy a mohou ovlivnit distribuci laktátu.
- **Akutní únava:** nedostatečná regenerace před testem (např. po závodech, těžkém týdnu) zvyšuje klidový laktát a mění reakci na zátěž.
- **Psychická pohoda:** stres nebo nervozita (zejména u mladších závodníků) ovlivňuje vnímání námahy i metabolickou odezvu.
- **Denní doba:** laktátová odezva se může mírně lišit v závislosti na denní době a biorytmu jednotlivce.

Všechny tyto faktory mohou způsobit posun křivky doprava či doleva, což při neodborném výkladu může vést k nesprávnému zařazení zón.

Technické faktory

Technické provedení odběru a měření laktátu představuje zásadní krok, který významně ovlivňuje spolehlivost výsledků. I při dobrých fyziologických podmínkách může dojít ke zkreslení, pokud nejsou dodrženy přesné zásady odběru, manipulace se vzorkem a provozní podmínky zařízení. Proto je nutné dodržet správný postup a předejít běžným technickým chybám.

- **Hloubka a kvalita vpichu** ovlivňují množství získané krve a komfort sportovce. Mělký vpich často vede k nedostatečnému vzorku nebo nutnosti opakování odběru. Naopak příliš hluboký vpich zvyšuje riziko bolesti, tvorby hematomu a stresové reakce. Doporučuje se použití jednorázových automatických lancet s řízenou hloubkou vpichu (1,6–2,0 mm) přizpůsobenou místu odběru.
- **Kvalita testovacích proužků** hraje důležitou roli – jejich kontaminace vlhkostí, expirace, nesprávné skladování nebo mechanické poškození vede ke špatné funkčnosti a nepřesnému výsledku. Proužky je nutné skladovat v uzavřeném obalu, v souladu s doporučením výrobce.
- **Načasování odběru** je klíčové. Laktát v krvi se po skončení zátěže rychle redistribuuje a odbourává, proto by měl být odběr proveden ideálně do 60 vteřin po ukončení každého zatěžovacího intervalu. Opožděný odběr může podhodnotit reálnou koncentraci laktátu, zatímco příliš brzký (např. do 10–15 s) nemusí ještě zachytit vrcholovou hodnotu.
- **Zbytky alkoholu nebo dezinfekčního roztoku na kůži** mohou reagovat s testovacím proužkem nebo krevní kapkou a zkreslit výsledek. Místo vpichu je třeba po dezinfekci řádně vysušit sterilním tamponem, nikdy neprovádět odběr na mokré kůži.
- **Manipulace s testovacím proužkem** musí být přesná – krev musí být aplikována do měřicí zóny proužku v dostatečném objemu, bez přerušení. Kapka by neměla být nanášena „bokem“ nebo s přerušovaným kontaktem, protože zařízení nemusí provést úplné načtení.
- **Funkčnost a stav měřicího zařízení** je rovněž zásadní – přístroj by měl být pravidelně kontrolován, u některých modelů i kalibrován. Používání neověřených nebo poškozených přístrojů vede ke zvýšené chybovosti, zejména při opakovaném použití v terénu.

Organizační faktory

- **Nedodržení standardizace protokolu** – rozdílná délka stupňů, náběh pásu nebo odlišné pauzy mezi stupni ztěžují srovnání výsledků.
- **Změny v prostředí** – teplota, vlhkost a nadmořská výška ovlivňují fyziologickou odezvu.
- **Nesrovnatelný testovací den** – test provedený po jiném zatížení než obvykle, nebo v jiném denním režimu, nemusí být validní pro srovnání.
- **Subjektivní faktory** – motivace, nálada, bolest, pocit únavy nebo obavy ze zátěže mohou vést k předčasnému ukončení testu a podhodnocení výkonu.

Popis testu a protokol

- **Cíl testu:** Identifikace intenzity AEP a ANP. Následně pak stanovení tréninkových zón
- **Varianty dle specializace/úrovně sportovce (venku):**
 - Standardní test: 5-8 x 2000 m, pauza 1-2 min na odběr
 - Při zvolení pauzy na odběr je doporučeno tuto pauzu držet celý test
 - Odběr učinit do 1 min od doběhu intervalu
 - Upravené vzdálenosti dle výkonnosti a zručnosti odebrat laktát:
 - 5-8 x 1600 m, pauza 1-2 min na odběr
 - 5-8 x 1200 m, pauza 1-2 min na odběr
- **Varianty dle specializace/úrovně sportovce (uvnitř):**
 - Standardní test: 5-8 x 4-7min, pauza 1min na odběr
- **Model testu:** Postupné zvyšování tempa mezi úseky dle stanoveného záměru. První úsek je výrazně pod předpokládaným AEP (cílem je pokles laktátu z odběru před testem - cca 30–40 s/km pod AEP). Následující úseky se zrychlují přibližně o 10–30s/km.

Poznámka: Upravené vzdálenosti jsou pak určeny pro sportovce, jejichž závodní tempo na 5 km je vyšší než 4:30 min/km (muži) nebo 5:00 min/km (ženy), případně dospívající závodníky s kratší tréninkovou historií. Přesné nastavení testu by mělo být vždy zváženo individuálně trenérem podle analýzy tréninkové historie.

Potřeby organizace testu

- **Venku**
 - **Materiál:** Laktátoměr, lancety/glukózové pero, dezinfekce, rukavice
 - **Místo:** Atletická dráha (min. délka 200 m), přesně změřená délka rovné tratě
 - **Odběr:** 1 odběrová osoba, 1–2 trenéři/měřiči
- **Uvnitř**
 - **Materiál:** Laktátoměr, lancety/glukózové pero, dezinfekce, rukavice

- **Místo:** Kalibrovaný běžecký pás (např. Woodway, HP Cosmos), sklon pásu 1°
- **Odběr:** 1 odběrová osoba, 1–2 trenéři/měřiči

Vyhodnocení

- **Rozdělení zón podle rychlosti/%TF/laktátu:**
 - Zóna 1 (i1): pod AEP – lehké běhy, nízká intenzita
 - Zóna 2 (i2): mezi AEP a ANP – rozvoj aerobní vytrvalosti
 - Zóna 3 (i3): lehce pod ANP – zvyšování tolerance k laktátu
 - Zóna 4 (i4): na ANP a těsně nad – intenzivní tempový trénink
 - Zóna 5 (i5): nad ANP – maximální kyslíková spotřeba, intervaly

Interpretace výsledků

Interpretace testu:

Test laktátové křivky sleduje, jak se tělo vyrovnává s rostoucí intenzitou zátěže. Cílem je určit dva klíčové zlomy – AEP a ANP – které slouží k přesnějšímu rozdělení tréninkových intenzit.

Proč začínat pod AEP/LT1:

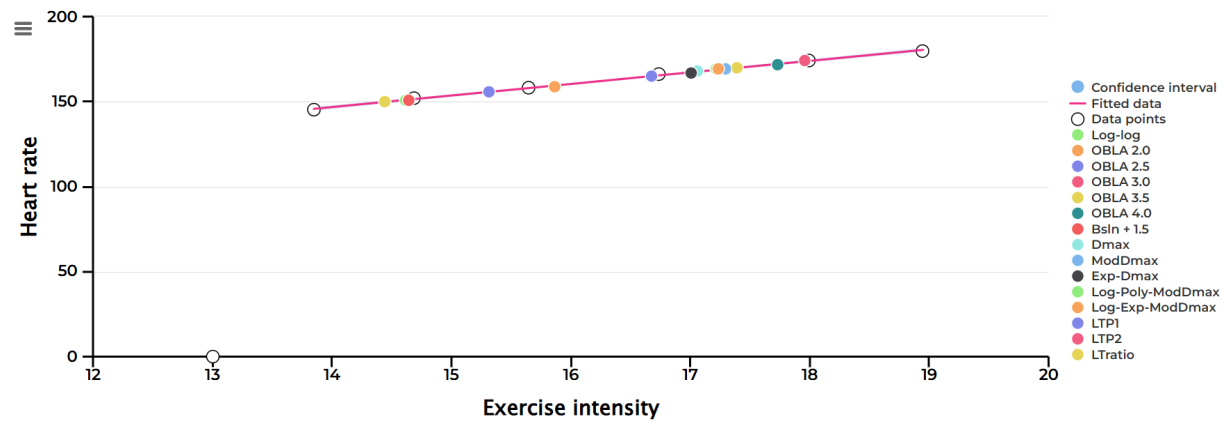
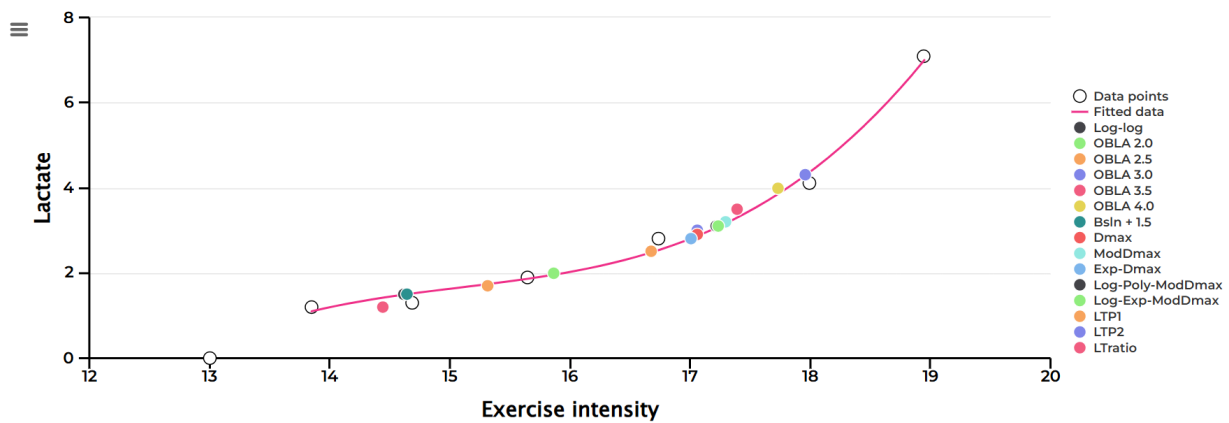
Intenzita prvního úseku testu musí být stanovena výrazně pod AEP/LT1, jinak může dojít k přeskočení této i2/Z1 intenzity a tím zkreslení výsledné křivky. Nižší intenzita na začátku umožní přesněji stanovit vyšší zapojení anaerobního metabolismu, respektive úroveň aerobního metabolismu.

Příklad interpretace – sportovec A:

- Test: 6x1600 m: 4:20 → 4:05 → 3:50 → 3:35 → 3:20 → 3:10 /km (pauza 60s)
 - Časová délka úseků: 6:56-6:32-6:08-5:44-5:20-5:04
- Laktát: 1.2 → 1.3 → 1.9 → 2.8 → 4.1 → 7.1 mmol/l
- TF: 145 → 152 → 158 → 166 → 174 → 180 bpm
- K výpočtu lze použít například <https://www.exphyslab.com/lactate>

Data input

	step	length	intensity	lactate	heart rate
1	0	0	0	0	0
2	1	6.93	13.85	1.2	145
3	2	6.53	14.69	1.3	152
4	3	6.01	15.65	1.9	158
5	4	5.73	16.74	2.8	166
6	5	5.33	18	4.1	174
7	6	5.07	18.95	7.1	180



method_category	method	fitting	intensity	lactate	heart_rate
Log-log	Log-log	3rd degree polynomial (user-defined)	14.62	1.5	151
OBLA	OBLA 2.0	3rd degree polynomial (user-defined)	15.87	2	159
OBLA	OBLA 2.5	3rd degree polynomial (user-defined)	16.68	2.5	165
OBLA	OBLA 3.0	3rd degree polynomial (user-defined)	17.06	3	168
OBLA	OBLA 3.5	3rd degree polynomial (user-defined)	17.4	3.5	170
OBLA	OBLA 4.0	3rd degree polynomial (user-defined)	17.74	4	172
Bsln+	Bsln + 0.5	3rd degree polynomial (user-defined)		0.5	
Bsln+	Bsln + 1.0	3rd degree polynomial (user-defined)		1	
Bsln+	Bsln + 1.5	3rd degree polynomial (user-defined)	14.65	1.5	151
Dmax	Dmax	3rd degree polynomial (default)	17.06	2.9	168
Dmax	ModDmax	3rd degree polynomial (default)	17.3	3.2	169
Dmax	Exp-Dmax	Exponential (default)	17.01	2.8	167
Dmax	Log-Poly-ModDmax	3rd degree polynomial (default)	17.22	3.1	169
Dmax	Log-Exp-ModDmax	Exponential (default)	17.24	3.1	169
LTP	LTP1	3rd degree polynomial (user-defined)	15.32	1.7	156
LTP	LTP2	3rd degree polynomial (user-defined)	17.96	4.3	174
LTratio	LTratio	B-Spline (default)	14.45	1.2	150

Možná interpretace výsledků dle 5 zón intenzit:

Zóna	% TFmax	Tepová frekvence (bpm)	Laktát (mmol/l)	Rychlost (km/h)	Tvůj výsledek	Vnímání námahy
Zóna 1	60 – 72 %	112 – 134	0.8 – 1.5	< 15.0	145 bpm @ 13.85 km/h, 1.2 mmol/l	Velmi lehká (Easy)
Zóna 2	72 – 82 %	134 – 152	1.5 – 2.5	15.0 – 16.5	AEP/LT1: 156 bpm @ 15.3 km/h, 1.7 mmol/l	Lehká – střední
Zóna 3	82 – 87 %	152 – 162	2.5 – 4.0	16.6 – 17.6	166 bpm @ 16.74 km/h, 2.8 mmol/l	Střední – těžká
Zóna 4	87 – 92 %	162 – 171	4.0 – 6.0	17.7 – 18.3 (odhad)	ANP/LT2: 174 bpm @ 17.8 km/h, 4.1 mmol/l	Těžká
Zóna 5	94 – 100 %	175 – 186	6.0 – 10.0	> 18.3 (odhad)	180 bpm @ 18.95 km/h, 7.1 mmol/l	Velmi těžká (Very hard)

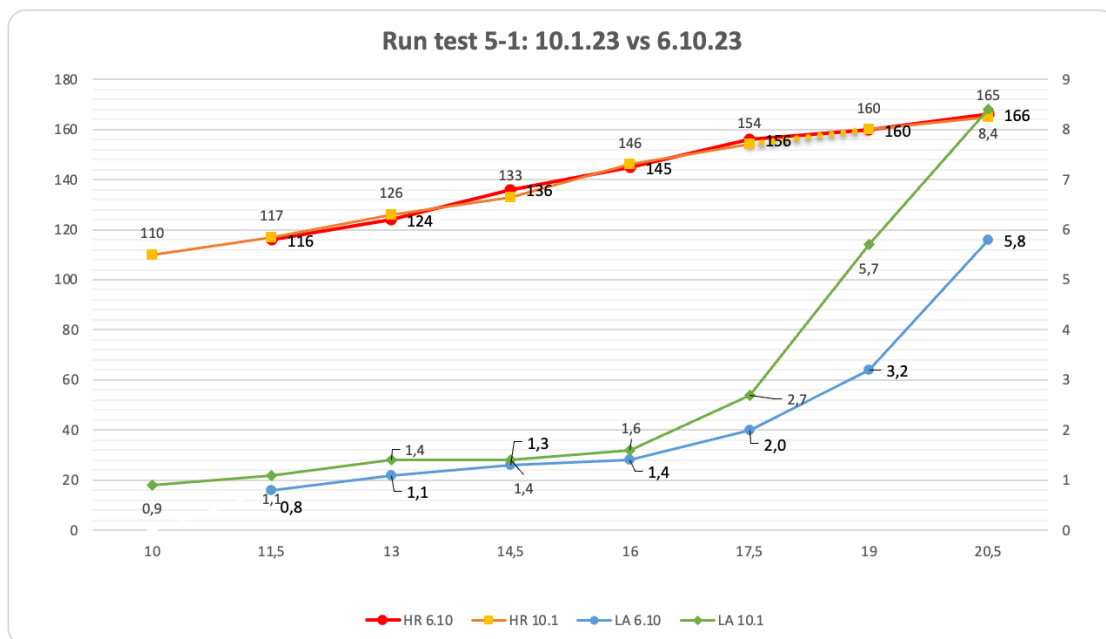
AEP/LT1 (aerobní práh): ~15.3 km/h, 1.7 mmol/l, 156 bpm → Zóna 2

ANP/LT2 (anaerobní práh): ~17.8 km/h, 4.1 mmol/l, 174 bpm → Zóna 4

Příklad interpretace – sportovec B:

Dva totožné testy 5-1 na běžeckém trenažeru v rozmezí 10.1. a 6.10 téhož roku.

Z testu je evidentní posun laktátové křivky doprava, při zachování stejné tepové frekvence ne úsecích lze interpretovat zlepšenou adaptací na zátěž, efektivnější práci s laktátem.



Literatura

Beneke, R., Leithäuser, R. M., & Ochentel, O. (2011). Blood lactate diagnostics in exercise testing and training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(1), 8–24. <https://doi.org/10.1123/ijsp.6.1.8>

Brooks, G. A. (1985). The lactate shuttle. *Circulation*, 72(6), 1151–1160. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.72.6.1151>

Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: How valid are they? *Sports Medicine*, 39(6), 469–490. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939060-00003>

Hashimoto, T., Hussien, R., & Brooks, G. A. (2006). Colocalization of MCT1, CD147, and LDH in mitochondrial inner membrane of L6 muscle cells: Evidence of a mitochondrial lactate oxidation complex. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 290(6), E1237–E1244. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00553.2005>

Heck, H., Bartmus, U., & Grabow, V. (2022). *Laktat: Stoffwechselgrundlagen, Leistungsdiagnostik, Trainingssteuerung*. Springer.

Heck, H., Mader, A., Hess, G., Mücke, S., Müller, R., & Hollmann, W. (1985). Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 6(3), 117–130. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025824>

Janssen, P. G. J. M. (2001). *Lactate Threshold Training – Running, Cycling, Multisport*. Human Kinetics.

Kindermann, W., Simon, G., & Keul, J. (1979). The significance of the aerobic–anaerobic transition for the determination of workload intensities during endurance training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 42(1), 25–34. <https://doi.org/10.1007/BF00421101>

Peronnet, F. (2010). Lactate as an end-product and fuel. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 61(5), 112–118.

Wilkie, D. R. (1980). Lactate metabolism and its role in fatigue. In Moret, P. R., & Weber, J. (Eds.), *Lactate – Physiologic, Methodologic, and Pathologic Approach* (pp. 1–22). Karger.

Wilkins, E., & Bell, T. (n.d.). *Using lactate testing to improve cycling training*. Highnorth Performance. Retrieved from <https://highnorth.co.uk/articles/lactate-testing>