



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

**ANALÝZA VYBRANÝCH FYZIOLOGICKÝCH PARAMETRŮ
SPORTOVců BĚHEM ZÁTĚŽE**

ANALYSIS OF SELECTED PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF ATHLETES DURING EXERCISE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Monika Ambrožová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Marina Ronzhina, Ph.D.

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor Biomedicínská technika a bioinformatika

Ústav biomedicínského inženýrství

Studentka: Monika Ambrožová

ID: 174480

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Analýza vybraných fyziologických parametrů sportovců během zátěže

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Seznamte se s různými projevy fyzické zátěže u vybraných skupin sportovců. Provedte literární rešerši v této oblasti. Zaměřte se na popis změn různých fyziologických parametrů (např. kardiovaskulárního systému aj.) vyvolaných extrémními výkony. 2) Seznamte se s databází zahrnující různé parametry naměřené u cílové skupiny sportovců. Navrhnete postup pro statistickou analýzu vybraných parametrů. 3) Vytvořte nástroj pro načtení a prohlížení naměřených parametrů pomocí vhodných grafických prostředků. 4) Implementujte do softwaru různé nástroje pro statistickou analýzu dat a vhodnou reprezentaci výsledků testů. 5) Provedte analýzu parametrů naměřených před a po extrémním výkonu. Porovnejte hodnoty parametrů u různých skupin sportovců. 6) Porovnejte výsledky s dostupnými údaji z literatury. Dosažené výsledky interpretujte a podrobně diskutujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] RODOVÁ, Markéta et al. Comparison of selected immunological and biochemical parameters in ultra runners and ultra cyclists participating in 24 hour races and multi-stage races. Physical activity in science and practice. 2013, s. 159-167.

[2] WU, H-J et al. Effects of 24 h ultra-marathon on biochemical and hematological parameters. World J Gastroenterol. 2004, č. 10, s. 2711-2714.

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 2.6.2017

Vedoucí práce: Ing. Marina Ronzhina, Ph.D.

Konzultant: Mgr. Daniela Chlíbková, Ph.D.

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně / Technická 3058/10 / 616 00 / Brno

Abstrakt

Pravidelná pohybová aktivita je považována za nezbytnou součást našeho života. Sport je doporučován pro předcházení různým chorobám, posílení imunitního systému či pro udržování váhy a zlepšení kondice člověka. Avšak v jaké míře je sportovní aktivita lidskému zdraví prospěšná a kdy přechází do stavu, kdy tělu spíše škodí? Tato práce pojednává o možných škodlivých účincích ultravytrvalostních sportů na lidský organismu. V našem případě se jedná o 100km běh, tedy ultramaraton a MTB. V následujících částech je snaha o vysvětlení metabolických změn a vlivu ultra vytrvalostního sportu na imunologické a biochemické parametry.

Zkoumány byly parametry imunoglobulin A, M, leukocyty, kreatinin, sodné a draselné ionty a enzymy jako laktátdehydrogenáza, kreatinkináza a alaninaminotransferáza. Hodnoty těchto parametrů byly získány ze vzorků krve závodníků odebrané před závodem a následně hned po závodě. Bylo zkoumáno celkem 23 vzorků z cyklistického závodu na 24 hodin a 24 vzorků z běžeckého závodu na 100 km. Pro statistickou analýzu dat byl vytvořen nástroj v programu Matlab.

Byl zjištěn enormní nárůst množství leukocytů v obou typech závodů. V cyklistickém závodě se jedná o navýšení z $5,75 \pm 1,29 \times 10^9/l$ na $11,80 \pm 3,08 \times 10^9/l$, v běžeckém závodě z $4,99 \pm 1,84 \times 10^9/l$ na $13,20 \pm 5,36 \times 10^9/l$. IgA se významně nesnížil, naopak se mírně zvýšil. Hodnoty IgM se u běžců výrazně nezměnily. U cyklistů došlo ke statisticky významnému snížení z původního množství $60,23 \pm 6,54 \text{ mg/dl}$ na $52,60 \pm 10,43 \text{ mg/dl}$. U běžeckého závodu dále došlo ke statisticky významným změnám hladiny CK a LDH. Z původních hodnot CK $4,25 \pm 2,74 \text{ } \mu\text{kat/l}$ stoupla aktivita enzymu vlivem závodu na $50,09 \pm 60,08 \text{ } \mu\text{kat/l}$. LDH se u cyklistického závodu nijak významně neliší, stejně jako je tomu u enzymu ALT. V tomto případě nedošlo k jeho statisticky významné změně ani v jednom typu závodu. Koncentrace draselných a sodných iontů významně poklesla. U draslíku jeho koncentrace poklesla z $5,61 \pm 0,59 \text{ mmol/l}$ na $4,57 \pm 0,39 \text{ mmol/l}$. Koncentrace sodných iontů se snížila po závodě z $138,22 \pm 1,17 \text{ mmol/l}$ na $137,00 \pm 1,75 \text{ mmol/l}$.

Klíčová slova

Ultramaraton, mountbiking, IgA, IgM, leukocyty, kreatinin, CK, LDH, ALT, Na^+ , K^+ , statistická analýza

Abstract

Regular sport activity is considered as necessary part of our lives. Sport is recommended for preventing various diseases, enhancing immunity system or for controlling weight and for enhancing conditions. However, how severely is sport activity benefit for human health and when it becomes harmful for it? This work deals with possible negative effects of strenuous exercise on human organism. In our case it is ultra-marathon and mountbiking. In following parts of this work it is tried to explain metabolic changes and influence of strenuous exercise on immunological and biochemical parameters.

The parameters immunoglobulin A, M, leukocytes, creatinine, sodium and potassium ions and enzymes such as lactate dehydrogenase, creatine kinase and alanine aminotransferase were studied. The values of these parameters were obtained from the blood samples taken before and after the race. A 23 samples from a 24-hour cycling race and 24 run-of-the-run race samples per 100 km were examined. A matlab tool was created for statistical analysis of data.

A huge increase in the number of leukocytes was found in both types of races. In the MTB, it is an increase from $5.75 \pm 1.29 \times 10^9 / l$ to $11.80 \pm 3.08 \times 10^9 / l$, in the race from $4.99 \pm 1.84 \times 10^9 / l$ to $13, 20 \pm 5.36 \times 10^9 / l$. IgA did not significantly decrease, on the contrary slightly increased. IgM values have not changed significantly in runners. Cyclists experienced a statistically significant reduction in the original amount of $60.23 \pm 6.54 \text{ mg / dl}$ to $52.60 \pm 10.43 \text{ mg / dl}$. There were statistically significant changes in CK and LDH levels in the race. From the original CK values of $4.25 \pm 2.74 \mu\text{kat / l}$, the activity of the enzyme increased by $50.09 \pm 60.08 \mu\text{kat / l}$ due to the race. LDH is not significantly different in the cycling race as well as in the ALT enzyme. In this case, there was no statistically significant change to either type of race. Concentration of potassium and sodium ions decreased significantly. In potassium, its concentration dropped from $5.61 \pm 0.59 \text{ mmol / l}$ to $4.57 \pm 0.39 \text{ mmol / l}$. Sodium ions dropped from $138.22 \pm 1.17 \text{ mmol / l}$ to $137.00 \pm 1, 75 \text{ mmol / l}$.

Key words

Ultra-marathon, mountbiking, IgA, IgM, leukocytes, creatinine, CK, LDH, ALT, Na^+ , K^+ , statistical analysis

Bibliografická citace

AMBROŽOVÁ, M. *Analýza vybraných fyziologických parametrů sportovců během zátěže*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 65 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marina Ronzhina, Ph.D..

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucí mé práce Ing. Marině Ronzhině, Ph.D, za užitečné rady, připomínky a čas, který mi poskytla, kdykoli jsem potřebovala. Dále bych ráda poděkovala Mgr. Daniele Chlíbačové, Ph.D a RNDr. Aleně Žákové, Ph.D. za poskytnutá data k vypracování této práce a pomoc s interpretací dosažených výsledků.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci na téma Analýza vybraných fyziologických parametrů sportovců během zátěže vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, citovaných v seznamu použité literatury.

V Brně dne 2. června 2017

.....

Monika Ambrožová

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Vliv nadměrné fyzické zátěže	11
2.1	Základní biologické parametry měřené u sportovců	11
2.1.1	Krev	11
2.1.2	Leukocyty	12
2.1.3	Imunoglobuliny	15
2.1.4	Anorganické látky v těle.....	18
2.1.5	Kreatinin	19
2.1.6	Enzymy.....	20
2.2	Negativní účinky fyzické zátěže na sportovce	22
2.2.1	Rhabdomyolýza.....	22
2.2.2	Poškození jater	22
2.2.3	Poškození ledvin.....	22
2.2.4	URTI.....	23
3	Statistická analýza dat	24
3.1	Testování normality dat.....	25
3.2	Parametrické testy	25
3.3	Neparametrické testy	26
3.4	Korelace.....	27
4	Analýza dat naměřených u sportovců v rámci dvou ultra vytrvalostních závodů	29
4.1	Naměřená data	29
4.2	Program pro analýzu dat.....	32
4.3	Výsledky statistické analýzy dat	39
5	Diskuze.....	50
6	Závěr	55
	Seznam použité literatury.....	57

Seznam použitých zkratek.....	61
Seznam příloh.....	62

1 Úvod

Pohybová aktivita je pro lidský organismus velice důležitá. Její pozitivní dopad na lidské zdraví je znám již od nepaměti. Pomáhá nám předcházet různým chorobám a posilovat imunitní systém. Avšak ne každý typ sportu je vřele doporučován. Extrémní sportovní výkony mají na lidské zdraví spíše opačný vliv. Roku 1994 byla publikována studie, kde je vyjádřen vztah mezi náchylností lidského organismu k infekcím a intenzitou fyzického výkonu, tento vztah odpovídá křivce tvaru J. Dle této křivky je lidský organismus nejméně náchylný při vykonávání mírné fyzické zátěže. Nejvíce naopak při extrémních fyzických výkonech, kam můžeme zařadit i ultravytrvalostní závody jako je ultra maraton či závod v mountbiking na 24 hodin. Vlivy těchto dvou sportů na lidský organismus jsou předmětem této práce. [33]

Cyklistický závod na 24 hodin se uskutečnil v Jihlavě roku 2013. Délka trati jednoho okruhu byla asi 8 km a vedla především nelehkým terénem. Dalším závodem, kterým se budu zabývat, je běh na 100 km. Tento závod se odehrál v Plzni v letech 2012 a 2013.

Práce se zaměřuje především na změny imunologických a biochemických parametrů, některé z nich často vykazují hodnoty mimo fyziologické rozmezí, což může nasvědčovat různým patologickým stavům. Mezi tyto nepříznivé jevy můžeme zařadit infekci horních cest dýchacích, rhabdomyolýzu, poškození ledvin či poškození jater.

2 Vliv nadměrné fyzické zátěže

Jak je již známo, přiměřená pravidelná pohybová aktivita je pro svůj pozitivní vliv na organismus více než doporučována. Naopak nadměrná fyzická zátěž může ovlivňovat různé funkce organismu, klade vysoké nároky na lidské orgány a fyziologické systémy. Může docházet ke změnám některých parametrů, získaných z krve či moči, které se mohou projevovat různými patologickými stavy organismu. V souvislosti s ultravytrvalostními sporty jsou často zmiňovány nepříznivé jevy jako infekce horních cest dýchacích, rhabdomyolýza, poškození jater či ledvin.

2.1 Základní biologické parametry měřené u sportovců

2.1.1 Krev

Krev je neodmyslitelnou součástí organismu. Plní několik životně důležitých funkcí. Její ústřední funkcí je přivádět kyslík a živiny do tkání a odvádět oxid uhličitý společně se zplodinami metabolismu. Podílí se na udržování tělesné teploty a homeostázy neboli stálého vnitřního prostředí organismu. Krev je také nositelem chemické informace, přenáší hormony k cílovým tkáním. Dále má zásadní význam v imunitním systému organismu. [1][2]

Objem krve odpovídá 7 až 8 % celkové tělesné hmotnosti, což činí přibližně 4,5 až 6 litrů krve. Ztráta krve v množství vyšším než 1,5 litru je smrtelně nebezpečná. Jedná se o červenou, neprůhlednou, vazkou tekutinu složenou z krevních buněk suspendovaných v krevních plazmě. Plazma je nažloutlou tekutou složkou krve a představuje 55 % jejího objemu. Obsahuje 91 % vody a 9 % rozpuštěných látek. Největší podíl rozpuštěných látek tvoří plazmatické bílkoviny, mezi které patří např. albuminy, globuliny, fibrinogen a podobně. Kromě bílkovin jsou důležitou složkou krevní plazmy glukóza a kreatinin. Své zastoupení mají i anorganické látky jako Na^+ , K^+ a mnoho dalších. Zbýlých 45 % krve tvoří buněčné elementy, mezi které řadíme erytrocyty, leukocyty a trombocyty. [1]

Erytrocyty

Červené krvinky neboli erytrocyty jsou bezjaderné buňky bikonkávního tvaru. Množství červených krvinek se liší v závislosti na pohlaví. Zatímco muži mají $4,3\text{--}5,3 \times 10^{12}/\text{l}$ krve, u žen nalezneme o trochu méně a to $3,8\text{--}4,9 \times 10^{12}/\text{l}$. Erytrocyty plní funkci transportu dýchacích

plynů mezi plicními alveoly a tkáněmi. Obsahují červené krevní barvivo hemoglobin, který má schopnost reverzibilně vázat a uvolňovat molekulární kyslík. Kyslík je po těle přenášen ve formě oxyhemoglobinu. Hemoglobin se účastní také transportu oxidu uhličitého za vzniku karbaminohemoglobinu. [1][2] [3]

Trombocyty

Krevní destičky neboli trombocyty jsou bezjaderné a bezbarvé složky krve. Počet destiček odpovídá $100\text{--}300 \times 10^9/\text{l}$ krve. Dvě třetiny z celkového počtu krevních destiček se uplatňují v cirkulaci, zbylá třetina se nachází ve slezině. Nejvýznamnější funkcí trombocytů je schopnost zástavy krvácení neboli hemostáza. Dalším úkolem je hemokoagulace neboli srážení krve. Trombocyty obsahují důležité látky serotonin, fibrinogen a protrombin. [1]

2.1.2 Leukocyty

Leukocyty jsou označovány jako bílé krvinky. Společně s lymfatickými orgány a cytokiny tvoří imunitní systém organismu. Imunitní systém má za úkol rozlišit látky těla vlastní od cizorodých či patologicky změněných buněk vlastního těla. [1]

Jedná se o jaderné krevní buňky, jejichž počet se pohybuje v rozmezí $4 \text{ až } 10 \times 10^9/\text{l}$ krve. Hlavním úkolem leukocytů je boj proti cizorodým částicím. Leukocyty mají schopnost chemotaxe, což znamená, že jsou chemicky přitahovány k místu výskytu infekce. Vykazují améboidní pohyb, jsou schopny opustit krevní řečiště a vycestovat do okolní tkáně, popřípadě až do dutin orgánů. Tomuto procesu se říká diapedéza. [1][4]

Z morfologického hlediska leukocyty dělíme do dvou skupin na základě charakteru cytoplazmy a členitelnosti jádra. Podrobné rozdělení leukocytů je uvedeno v tabulce 2.1. [1]

První z nich jsou granulocyty. Jsou označovány jako první obranná linie organismu proti různým patogenům. Granula jsou drobné membránové váčky. Obecně jsou schopny degranulace neboli uvolnění obsahu granul do okolí na základě určitého podnětu, čímž mohou působit různými mechanismy na cizorodé částice. Funkce granulocytů spočívá v pohlcování neboli fagocytóze bakterií a jiných cizorodých částic. Podle barvitelnosti granul přítomných v cytoplazmě se rozdělují na neutrofilní, eozinofilní a bazofilní granulocyty. [1][4]

Druhou skupinou jsou agranulocyty. Vyznačují se velkým nečleněným jádrem. Ve své cytoplazmě na rozdíl od granulocytů neobsahují barvitelná granula. Dělí se dále na monocyty a lymfocyty. [1]

Tab. 2.1: Základní rozdělení leukocytů [1]

Druh bílých krvinek	Diferenciální rozpočet	Počet v litru krve ($\times 10^9$)	$\varnothing$ v μm	Barvení	Charakteristické znaky
Neutrofilní granulocyty	0,57–0,67	3–6	10–12	drobná růžová granula	segmentované jádro (2–5 segmentů)
Eozinofilní granulocyty	0,01–0,03	0,05–0,25	13–14	červená hrubá granula	dvojlaločné jádro
Bazofilní granulocyty	0,00–0,01	0–0,1	9–10	tmavofialová kulatá granula	esovité jádro
Lymfocyty	0,24–0,40	1,5–3	6–8	modrá plazma, tmavé jádro	velké, okrouhlé jádro, úzký lem cytoplazmy
Monocyty	0,03–0,08	0,3–0,5	15–25	modrá plazma i jádro	ledvinovité velké jádro, mnoho cytoplazmy

Množství leukocytů v krvi je často zvýšeno v důsledku zánětu či infekčních onemocnění. V případě zvýšených hodnot leukocytů v krvi hovoříme o leukocytóze, v opačném případě o leukopenii. K leukocytóze dochází také vlivem fyzické aktivity a stresových situací (bolest, smutek). Dle studií dochází k navýšení hodnot leukocytů po skončení vytrvalostního závodu, což naznačuje, že lidský organismus reaguje na extrémní zátěž, jako v případě zánětu či infekce. Největší nárůst můžeme pozorovat u neutrofilů, množství lymfocytů se naopak snižuje, což může podporovat teorii „open window“, tedy snížení schopnosti bojovat s antigeny. Tyto poznatky by mohly mít souvislost s častým výskytem URTI u ultra sportovců. Dle další studie dochází také k poklesu eozinofilů a bazofilů a navýšení hodnot monocytů. [5] [6] [7]

Neutrofilní granulocyty

Neutrofily jsou nejrozšířenějším typem granulocytů. Tvoří přibližně 50 až 60 % ze všech bílých krvinek. Jádro je tvořeno 2-5 segmenty. Tento počet se může při některých chorobách zvýšit až na 10 segmentů. [1] [3]

Neutrofilní granulocyty využívají krev pouze jako transportní médium, které jim slouží k transportu z místa produkce k místu uplatnění. Jsou součástí první obranné linie organismu proti patogenům. Jejich nejdůležitější funkcí je fagocytóza, nejčastěji bakterií či virů. Znamená to, že neutrofil cizorodou částici obklopí výběžky a následně ji pohltí. Uvnitř neutrofilu je

cizorodá částice zlikvidována pomocí specifických enzymů. Fagocytózy jsou dále schopny také eozinofilní granulocyty a monocyty. [1] [2] [3]

Eozinofilní granulocyty

Eozinofilních granulocytů v krvi není mnoho. Jejich počet se zvyšuje při alergických a parazitárních onemocnění. Jejich fagocytární aktivita je malá. Uplatňují se hlavně při obraně proti různým parazitickým prvokům a hlístům vylučováním enzymů z granul. [1]

Bazofilní granulocyty

Bazofilní granulocyty jsou v krvi a dření zastoupeny minimálně. Jejich počet stoupá při určitých chorobách. Na rozdíl od ostatních granulocytů nemají význam při fagocytóze. Na membránách bazofilů se vyskytují receptory pro imunoglobuliny IgE. Granula obsahují velké množství histaminu a heparinu. Jejich funkce však není zcela známá. Dle profesora Stanislava Trojana by jejich hlavní úkol mohl spočívat ve vasodilatačních a koagulačních účincích. Heparin by se mohl uplatňovat při metabolismu lipidů a histamin se uplatňuje při vzniku alergických symptomů. [1]

Monocyty

Monocyty dosahují největších rozměrů ze všech bílých krvinek a mohou se diferencovat do makrofágů. Tvoří přibližně 5 % populace leukocytů. Monocyty jsou na rozdíl od neutrofilních granulocytů významné tím, že mohou fagocytovat opakovaně, kdežto neutrofily pouze jednou a poté zahynou. Monocyty cirkulují v krevním řečišti jako nezralé buňky. Prostřednictvím krve se následně dostávají do tkání nebo tělních dutin, kde se diferencují v různé typy makrofágů. Makrofágové jsou schopni fagocytózy a rozeznávat cizorodé struktury. Jejich základní funkcí je obrana proti mikroorganismům a zbavování se starých, poškozených a cizorodých buněk. K rozeznávání cizorodých struktur slouží makrofágům jejich membrána vybavená receptory pro imunoglobuliny (IgG). Ty nežádoucí buňku obalí a na základě toho je mohou makrofágové rozpoznat a následně fagocytovat. [1] [3] [4]

Lymfocyty

Druhý nejpočetnější typ bílých krvinek přítomných nejen v krvi, ale i v některých orgánech a tkáních. Jde o jedny z nejvýznamnějších buněk imunitního systému. Mají ohromný proliferační potenciál. Pokud dojde k setkání lymfocyty s přiměřeným stimulem, začne se dělit a diferencovat. Jsou schopny volně opouštět krevní řečiště, vstupovat do organizovaných lymfoidních tkání a vracet se zpět do krve. Lymfocyty dělíme do dvou skupin na základě jejich funkce. [1] [3] [4]

První skupinou jsou T-lymfocyty. Tento typ lymfocytů se uplatňuje v buněčné imunitě a spolupracují při tvorbě protilátek. Dozrávají v thymu. T-lymfocyty převažují v periferní krvi, mizovodech a recirkulují mezi krví a lymfoidními tkáněmi. Umožňují zejména likvidaci buněk napadených viry a z části buňky nádorové. [1] [4]

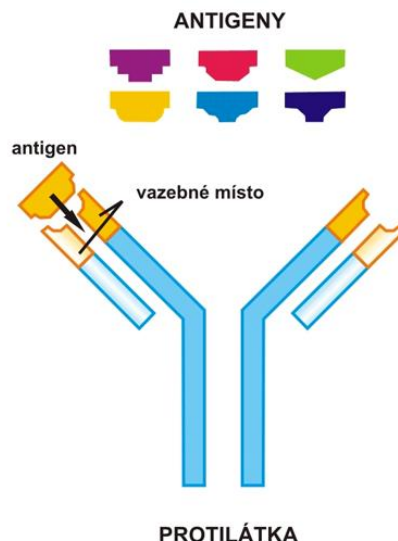
Druhou skupinou jsou B-lymfocyty. Dozrávají v kostní dřeni. Tyto buňky mají na starost humorální imunitu. Vytváří specifické protilátky neboli imunoglobuliny, jejichž molekuly se vážou na povrchové struktury cizorodých částic, tím přispívají k jejich likvidaci. Nejvíce se jich nachází ve slezině a lymfatických uzlinách. [1] [3] [4]

2.1.3 Imunoglobuliny

Imunoglobuliny hrají klíčovou roli v imunitním systému. Jsou základem humorální imunity. Imunoglobuliny jsou protilátky, na jejichž tvorbě se podílejí B-lymfocyty. Jedná se o specifické proteiny syntetizované jako odpověď na přítomnost antigenu. Pro pochopení bych chtěla vysvětlit, co vlastně antigen znamená a jak zhruba fungují základní pochody specifické imunity. [1] [8]

Specifická imunita není vrozená. Člověk si ji buduje postupně během života po setkání s určitými antigeny. Antigen je cizorodá potenciálně škodlivá částice z vnějšího prostředí, ale může představovat i buňky těla vlastní. Buňky imunitního systému se je snaží zničit různými mechanismy jako je např. již zmíněná fagocytóza. Antigeny vyvolávají syntézu protilátek. [9] [10]

Imunoglobuliny jsou schopny rozlišovat specifické struktury povrchů antigenů, přičemž každá protilátka je určena k rozpoznání pouze jediného druhu antigenu. Po setkání s antigenem dochází k interakci antigen-protilátka. Imunoglobuliny antigeny označí jako cíl ostatních obranných systémů. Naváží se na antigen, jenž zviditelní pro makrofágy, a ti dané cizorodé molekuly zneškodní. [1] [8] [9]



Obr. 1: Znázornění interakce antigen-protilátka [40]

Základní jednotka imunoglobulinu se skládá z identických dvou lehkých a dvou těžkých řetězců. Tato jednotka je symetrická a řetězce jsou uspořádány do písmene Y. Začátky těžkého a lehkého řetězce jsou v blízkém kontaktu a slouží jako vazebné místo protilátky (viz Obr. 1). Dle imunitních vlastností a struktury rozlišujeme pět základních tříd imunoglobulinů: IgA, IgD, IgE, IgG, IgM (viz Obr. 2). [8]

IgG

Imunoglobuliny G jsou nejpočetnější třídou z imunoglobulinů. Představují asi 80 % ze všech protilátek přítomných v krvi. Jsou tvořeny jedním monomermem, základní stavební jednotkou imunoglobulinů. Důležitou roli hraje u novorozenců, jelikož má jako jediný schopnost prostupovat placentou. To znamená, že slouží jako jejich prvotní imunitní systém před tím, než si vytvoří svůj vlastní. Dále podporuje fagocytózu bakterií, potlačuje viry a působí proti toxinům. [8] [11]

IgA

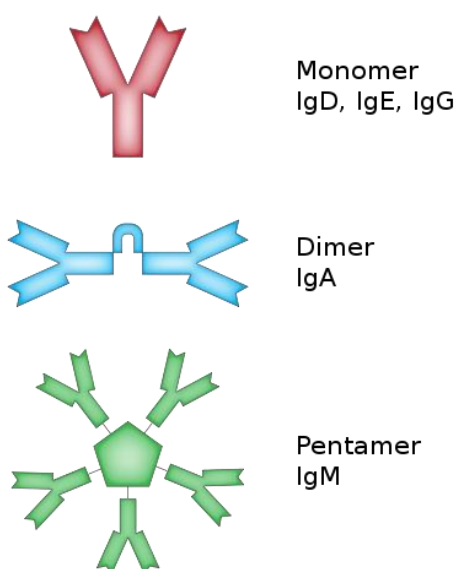
Tyto imunoglobuliny jsou druhou nejpočetnější třídou, jejich podíl v organismu je přibližně 12 %. Najdeme je v krevní plazmě a v sekretech, kde jsou základem sekreční imunity sliznic GIT a dýchacích cest. Struktura je tvořena dimery monomeru. Slouží především k ochraně před infekcí povrchu sliznic. [8] [11]

Po vytrvalostním sportovním výkonu dochází k mírnému poklesu IgA, což by mohlo dokazovat vyšší náchylnost ultra sportovců k infekcím horních dýchacích cest URTI. [6]

IgM

Imunoglobuliny M tvoří 6% podíl ze všech tříd imunoglobulinů. Jedná se o pentamer monomeru. Nachází se především v krevní plazmě. V případě, že se setká organismus s daným antigenem poprvé, představuje první třídu protilátek, která vzniká jako humorální imunitní reakce proti antigenu. Je velice účinný proti bakteriím a virům. Jeho funkce spočívá také v aktivaci komplementu, či aglutinaci. [8] [11]

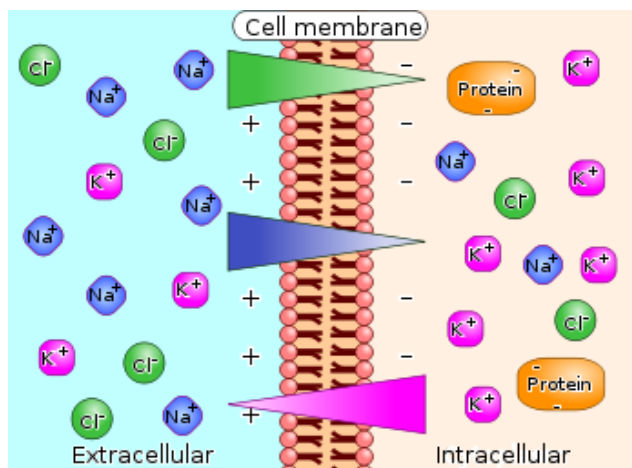
Po skončení zátěžové sportovní akce vytrvalostního charakteru nedochází k výrazným změnám množství imunoglobulinu M v krvi. [6]



Obr. 2: Struktury jednotlivých tříd imunoglobulinů [41]

2.1.4 Anorganické látky v těle

Anorganické látky jsou obsaženy hlavně uvnitř buněk, tedy v intracelulárním prostředí, v krevní plazmě, popř. v intersticiální tekutině neboli tkáňovém moku. Krevní plazma, popř. intersticiální tekutina tvoří extracelulární prostředí buněk. V krevní plazmě jsou anorganické látky z 96 % zastoupeny elektrolyty, zbylé 4 % připadají na neelektrolyty. V krevní plazmě jednoznačně dominuje iont Na^+ . Mezi nejdůležitější anionty řadíme iont Cl^- a bikarbonátový aniont. Dále zde můžeme v malém množství najít ionty K^+ , Ca^{2+} a Mg^{2+} , či fosfátové a sulfátové anionty. V intracelulárním prostředí silně převládá iont K^+ , dále jsou přítomny fosfáty a bílkoviny a v minimálním zastoupení ionty Na^+ , Cl^- a HCO_3^- . Intracelulárně i extracelulárně jsou kationty a anionty anorganických látek přibližně v rovnováze a pH buněk i tekutin je ve většině případů blízké neutrálnímu bodu. Znázornění přítomnosti jednotlivých iontů v různých prostředí a jejich pohyb je znázorněn na obrázku 3. [1] [8] [11] [14]



Obr. 3: Znázornění přítomnosti iontů v jednotlivých prostředích a jejich pohyb [42]

Sodík

Ion Na^+ je hlavním kationtem extracelulárních tekutin. Je nezbytný pro udržování osmotického tlaku, stálého objemu a pH krevní plazmy. Dále se podílí na přenosu vzruchu na membránách. Má rozhodující vliv na obsah vody v extracelulární tekutině. Zvýšené ztráty sodíku z těla jsou spojeny se ztrátami vody. Denní potřeba sodíku je asi 1 g, přičemž jeho příjem je značně vyšší a to 5-15 g denně. Zdroj sodíku pro lidský organismus představuje kuchyňská sůl. Vylučování iontu Na^+ se z největší části uskutečňuje ledvinami, případně pocením a stolicí. [1] [4] [8] [14]

Typickou změnou po větší zátěži je snížení hladiny natria v těle. Tomuto stavu se říká hyponatremie, nastává při $\text{Na} \leq 135 \text{ mmol/l}$. Hyponatremie je spojena s nadměrnou konzumací

hypotonických tekutin nebo nadměrným pocením při sportovním výkonu, což vede ke snížení koncentraci krevního sodíku [22]. [13]

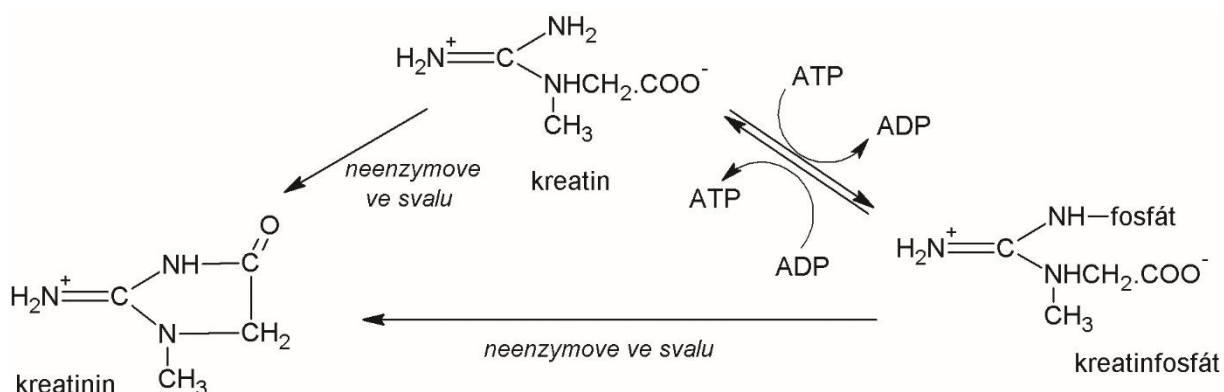
Draslík

Draslík je druhým nejrozšířenějším kationtem těla a zároveň hlavním kationtem intracelulární tekutiny. V minimálním množství jej najdeme i v extracelulární tekutině. Stejně jako sodík se podílí na přenosu vzruchu na membránách. Je nezbytný pro činnost svalů, zejména myokardu. Jeho stálá koncentrace v krevní plazmě je důležitá pro aktivitu některých enzymů. Slouží k udržování osmotického tlaku v buňce a klidového membránového potenciálu. Hlavním zdrojem draslíku jsou rostlinné potraviny. Ion K^+ se vylučuje močí. Po fyzické zátěži dochází ke zvýšení hodnot K^+ v krvi, v důsledku rozpadu buněk vlivem extrémní zátěže, což může poukazovat na poškození svalů. [1] [4] [8] [14] [15]

2.1.5 Kreatinin

Kreatinin je látka, která vzniká ve svalech dehydratací kreatinu a kreatinfosfátu. Nachází se v krvi a v moči. V těle se tvoří a vylučuje poměrně konstantní rychlostí. Koncentrace kreatininu závisí na množství svalové hmoty. Z těla je následně vylučován ledvinami, především glomerulární filtrací. [8]

Stanovení koncentrace kreatininu v séru je užitečné pro posouzení funkce ledvin. Zvýšenou koncentraci v séru lze pozorovat při zvýšené produkci kreatininu nebo při jeho sníženém vylučování ledvinou, tedy v případě poškození ledvin. Zvýšenou produkci kreatininu můžeme pozorovat po nadměrné fyzické námaze nebo velkém příjmu bílkovin. [8] [14] [16]



Obr. 4: Schéma tvorby kreatininu [43]

2.1.6 Enzymy

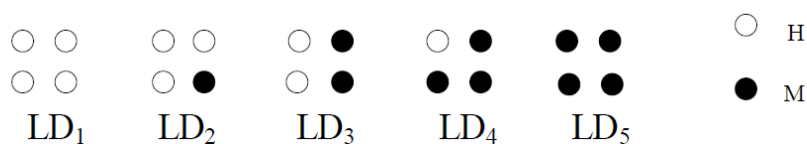
Kreatinkináza

Kreatinkináza je enzym katalyzující přeměnu kreatinu na kreatinfosfát pomocí ATP, ze kterého vzniká ADP. Hraje důležitou roli v energetickém metabolismu svalu. V případě nedostatku ATP může reakce probíhat opačným směrem, kdy opět vzniká kreatin a potřebné ATP. CK se nachází v kosterním a srdečním svalstvu a v mozkové tkáni. Jedná se o dimer tvořený kombinací podjednotek M (muscle) a B (brain). Rozlišujeme tři základní izoenzymy kreatinkinázy: CK-MM, CK-MB a CK-BB. V kosterním svalstvu dominuje izoenzym CK-MM. Pro myokard je typický CK-MB a v mozku se vyskytuje CK-BB. [8] [14] [17]

CK se využívá v diagnostice nemocí svalů. V současné době je hladina CK považována za nejcitlivější indikátor svalového poškození. Izoenzymy CK se využívají pro rozlišení mezi chorobami kosterní a srdeční svaloviny. Sportovní zátěž způsobuje poškození kosterního svalstva, což vede ke zvýšení plazmatického enzymu CK [22]. Uvádí se souvislost mezi zvýšenou hodnotou aktivity CK a rhabdomyolýzou. Vyšetření CK-MB se dále provádí v případě podezření na infarkt myokardu. [8] [14] [17] [22]

Laktátdehydrogenáza

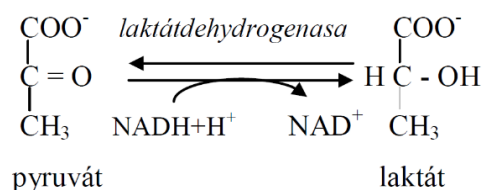
Laktátdehydrogenáza je enzym zúčastňující se anaerobní glykolýzy. Katalyzuje přeměnu pyruvátu na laktát (viz Obr. 6). Najdeme ho ve všech buňkách těla. Strukturu LDH tvoří tetramer s podjednotkami M (muscle) a H (heart). Jejich vzájemnou kombinací vzniká pět různých izoenzymů laktát dehydrogenázy LD1-LD5, viz obr. č. 5. Izoenzymy LD1 a LD2 najdeme v myokardu a erytrocytech. LD4 a LD5 se vyskytuje v játrech či kosterních svaích. [8] [11] [14]



Obr. 5: Izoenzymy laktátdehydrogenázy [8]

Zvýšenou aktivitu LDH můžeme pozorovat při poškození jakýkoli buněk. Výraznější navýšení hodnot LDH se objevuje při poškození jater nebo svalové tkáně. [8] [11] [14]

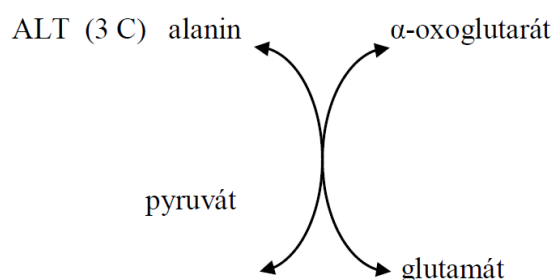
Vlivem sportovní zátěže dochází k nárůstu enzymu LDH. Při zvýšené fyzické zátěži, kdy se snižuje dodávka kyslíku, je energie získávána pomocí anaerobní glykolýzy, které se zúčastňuje právě LDH. Vysoce zvýšená hodnota LDH může značit poškození svalstva. [6] [7]



Obr. 6: Přeměna pyruvátu na laktát [8]

Alaninaminotransferáza

Alaninaminotransferáza je enzym katalyzující transaminační reakci. Dochází k přenosu aminoskupiny z alaninu na α -oxoglutarát, při čemž vzniká pyruvát a glutamát (viz Obr. 7). Tato reakce může probíhat v obou směrech. [8] [14] [18]



Obr. 7: Transaminační reakce ALT [8]

Vyskytuje se především v játrech. Nalezneme jej v menším množství i v ledvinách, myokardu, či v kosterním svalstvu. Vyšetření aktivity ALT se provádí při podezření na poškození jater. Hodnota ALT se zvyšuje již při malém poškození jater. [8] [14] [18]

V důsledku ultra vytrvalostních aktivit dochází k významnému navýšení aktivity ALT. Zvýšené hodnoty enzymu ALT, jak již bylo zmíněno, poukazují především na poškození jater. Můžeme se tedy domnívat, že nadměrná fyzická zátěž při ultra vytrvalostních sportech má souvislost s jejich poškozením. [6] [7]

2.2 Negativní účinky fyzické zátěže na sportovce

2.2.1 Rhabdomyolýza

Rhabdomyolýza je choroba, kdy dochází k rozpadu příčně pruhovaného svalstva a následnému uvolnění obsahu svalových buněk do krevní plazmy. Dochází k uvolňování myoglobinu, který škodí ledvinám a může zapříčinit jejich selhání. Hlavními příznaky jsou svalová slabost, bolest svalů a moč hnědé barvy, objevují se i horečky, bolest hlavy či zvracení. Rhabdomyolýza má několik různých příčin. Může být způsobena traumatem, svalovou ischemií nebo nadměrnou zátěží, která je ovlivněna stavem hydratace, teplotou a stavem minerálů. Dále ji mohou vyvolat některá infekční onemocnění, toxické poškození, apod. Vzniknout může také v důsledku metabolických či genetických poruch. [19] [20]

Klinický obraz rhabdomyolýzy představuje výrazně zvýšenou hladinu CK v krvi, zvýšenou hodnotu vykazuje také myoglobin v séru. Dochází k vzestupu krevního K⁺, enzymů LDH, ALT, AST a aldolázy. Často je spojována s hyponatrémií a následným poškozením ledvin. [11] [19] [20] [21]

Dle studií snížená koncentrace sodných iontů v krvi může přispět k otokům svalových buněk, což by mohlo v kombinaci s opakujícím se mechanickým namáháním urychlit poškození kosterního svalstva, rhabdomyolýzu [22].

2.2.2 Poškození jater

Dalším častým problémem u vytrvalostních sportovců je poškození jater. Informace o správné funkci jater nám podává hlavně enzym ALT, či AST. Během sportovního výkonu dochází k navýšení koncentrace obou enzymů, což nasvědčuje možné infekci či poškození jater v důsledku dlouhodobé nadměrné zátěže. Souvislost s poškozením jater má také zvýšená aktivita enzymu LDH. [6] [7]

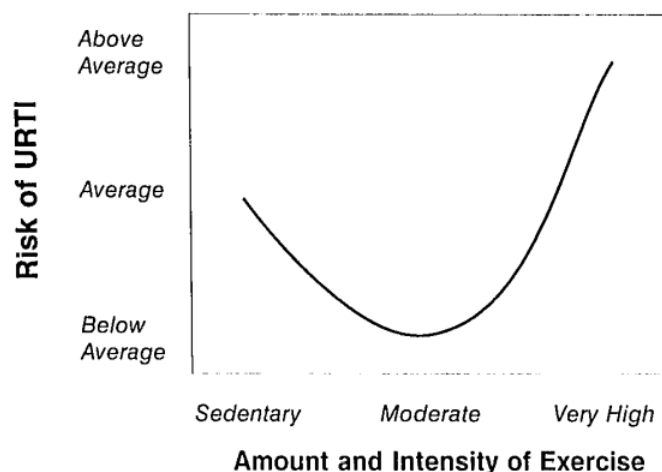
2.2.3 Poškození ledvin

Akutní poškození ledvin je u ultra vytrvalostních závodníků celkem běžné. Klinický obraz vykazující poškození ledvin zahrnuje navýšení hodnot kreatininu, který je z těla vylučován ledvinami. Zvýšené hodnoty kreatininu v souvislosti s poškozením ledvin mohou být umocněny dehydratací a rhabdomyolýzou. Dále je důležitým parametrem snížení hodnoty sodných kationtů, tedy hyponatrémie. [23] [24] [25]

Hyponatrémie je stav, kdy dochází k poklesu koncentrace iontu Na^+ v plazmě pod 135 mmol/l. Hyponatrémie vzniká zejména v důsledku vytrvalostních výkonů. EAH neboli exercise-associated hyponatremia, byla zjištěna u více než 50% maratonců a ultramaratonců [26]. Teorií vzniku této metabolické poruchy je zavodnění sportovců následkem pocení, což způsobuje pocit žízně. EAH se může projevovat nechutenstvím, svalovým vyčerpáním, křečemi, bolestí hlavy, podrážděností. Závažným následkem je edém a poruchy funkcí plic a mozku, což může vést až ke smrti. [23] [24] [25] [26] [27] [28] [29]

2.2.4 URTI

Upper respiratory tract infections neboli infekce horních cest dýchacích, je jedním z nejčastějších onemocnění vrcholných sportovců. URTI zahrnuje akutní infekci nosní dutiny a vedlejších nosních dutin, hltanu nebo hrtanu. Projevuje se bolestmi v krku, rýmou, zánětem mandlí, hltanu, hrtanu, horečkou, únavou, apod. Většinou se jedná o infekci virové povahy, avšak není výjimkou infekce horních dýchacích cest vyvolaná bakteriemi. U elitních sportovců se často vyskytuje dlouhodobá únava a opakované infekce, což může být způsobené nadměrnou a intenzivní zátěží při trénincích a závodech. Často se vyskytuje tzv. „open-window“, což je stav, kdy má organismus nižší schopnost bojovat proti mikrobiální invazi před celkovou regenerací [5]. Po ultramaratonovém závodě dochází k významnému navýšení leukocytů, konkrétně neutrofilů. Naopak dochází ke snížení množství lymfocytů a imunoglobulinu A, čímž se člověk stává náchylnější k infekcím. Dle studií tyto poznatky mají souvislost s častým výskytem URTI u ultrasportovců. Vztah mezi náchylností k infekcím a intenzitou fyzického výkonu vyjadřuje křivka tvaru J, viz Obr. č. 8. Jak si lze všimnout, nejvyšší riziko nastává při velmi vysoké intenzitě cvičení. Naopak nejnižší při mírné zátěži. [6] [30] [31] [32] [33]



Obr. 8: Vztah mezi intenzitou fyzického výkonu a rizikem URTI [33]

3 Statistická analýza dat

Informace k této kapitole byly čerpány ze zdroje [35], pokud není uvedeno jinak.

Statistika je matematická věda, slouží k posouzení, zda naměřená data vyhovují námi předem zvolenému kritériu. Využívá hypotéz, určitých tvrzení. Na počátku statistického testování je potřeba určit nulovou a alternativní hypotézu. Nulová hypotéza H_0 zastává předpoklad, že mezi dvěma jevy není statisticky významný rozdíl. Alternativní hypotéza H_A popírá pravdivost nulové hypotézy. Cílem statistiky je ověřit platnost nulové hypotézy pomocí zvoleného statistického testu a testovacího kritéria, nejčastěji se jedná o hodnoty kritérií t , F či X^2 , které najdeme v tabulkách. Následně dochází k porovnání hodnoty kritéria a vypočtené hodnoty. Mohou nastat dva případy. V prvním případě bude tabulková kritická hodnota menší než vypočtená, což znamená, že zamítáme nulovou hypotézu na dané hladině významnosti. V opačném případě je kritická hodnota z tabulek vyšší než vypočtená a nulovou hodnotu nelze zamítnout.

Testování probíhá na námi určené hladině významnosti, tedy pravděpodobnosti, že náhodná odchylka překročí určitou kritickou hodnotu. Nejčastěji se pohybuje okolo 0,05.

Vzorce pro výpočet důležitých statistických parametrů jako je průměr, směrodatná odchylka, rozptyl či koeficient variance:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}, \quad (2)$$

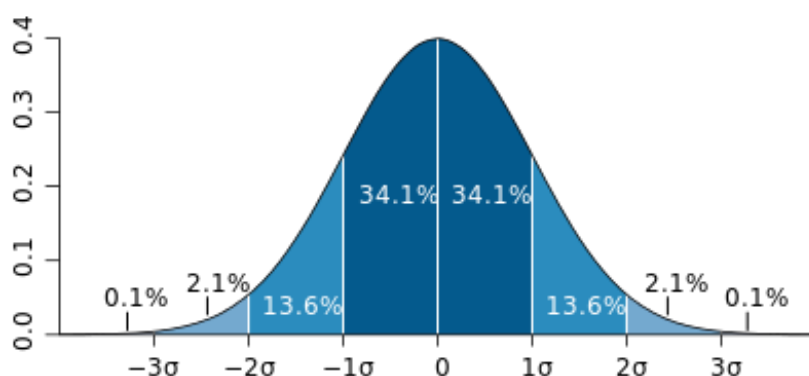
$$s = \sqrt{s^2}, \quad (3)$$

$$c = \frac{s}{\bar{x}}, \quad (4)$$

kde $\bar{x}$ je průměr, n je počet vzorků, s^2 značí rozptyl, s směrodatnou odchylku a c koeficient variance.

3.1 Testování normality dat

Normální rozložení dat je nejčastějším rozložením ve statistice. Před výběrem statistického testu je potřeba ověřit normalitu dat, která je podmínkou některých testů. Na základě tohoto poznatku se rozhodujeme, zda použijeme parametrické nebo neparametrické testy. Normální rozložení je symetrické kolem střední hodnoty μ , křivka má vždy stejnoměrný zvonovitý tvar. Hodnota průměru odpovídá hodnotě mediánu a platí, že 99,7 % se nachází v intervalu $\mu \pm 3\sigma$ (viz Obr. 9). Existuje mnoho dalších typů rozložení dat jako je binomické, Poissonovo či např. logaritmické-normální rozložení. [34] [35]



Obr. 9: Grafické znázornění normálního rozložení dat

Jak již bylo zmíněno, před výběrem samotného testu je potřeba ověřit normalitu dat. K ověření lze použít grafické metody nebo statistické testy. Z grafických metod můžeme zmínit např. histogram či Q-Q graf.

Ze statistických testů dominuje Shapirův-Wilkův test, který je účinný i při malém množství dat. Dále lze použít test dobré shody či Kolmogorovův-Smirnovův test.

3.2 Parametrické testy

Parametrické testy se používají v případě, že data vykazují normální rozložení a jsou stejného rozptylu. Mají větší sílu než testy neparametrické.

Prvním parametrickým testem je jednovýběrový t-test. Porovnává jeden typ dat vůči referenční hodnotě. Výpočet testové statistiky je dán vzorcem:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}}, \quad (5)$$

kde t je testová statistika t-testu, $\bar{x}$ průměrná hodnota v populaci, μ střední hodnota základního souboru, (referenční hodnota), s směrodatná odchylka a n je počet vzorků.

Dalším parametrickým testem je nepárový dvouvýběrový t-test. Při tomto testu srovnáváme dvě rozložení, tato dvě rozložení jsou na sobě nezávislá. Jejich rozptyl by si měl přibližně odpovídat, což ověříme např. F-testem. Dvouvýběrový nepárový test je dán vzorcem:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - c}{\sqrt{s^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (6)$$

$$s^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}, \quad (7)$$

kde t je testová statistika t-testu, $\bar{x}_1$ je průměrná hodnota ve skupině 1, $\bar{x}_2$ je průměrná hodnota ve skupině 2, c referenční hodnota, n_1 odpovídá počtu vzorků ve skupině 1, n_2 počtu vzorků ve skupině 2, s^2 je rozptyl, s_1^2 rozptyl ve skupině 1, s_2^2 rozptyl ve skupině 2.

V případě, že srovnáváme dvě rozložení, která jsou na sobě závislá, použijeme párový dvouvýběrový t-test. Cílem tohoto testu je ověřit, zda se střední hodnoty obou skupin liší o předem danou hodnotu D_0 . Počítá s průměrem diferencí $\bar{D}$ mezi hodnotami testovaných skupin dat x_i a y_i :

$$D_i = x_i - y_i \quad (8)$$

Párový dvouvýběrový t-test se vypočte dle:

$$t = \frac{\bar{D} - D_0}{s/\sqrt{n}}, \quad (9)$$

kde t je testová statistika t-testu a n počet vzorků.

3.3 Neparametrické testy

Neparametrické testy nemají žádné požadavky na rozložení vstupních dat. Tyto testy tedy můžeme použít i pro data, která nevykazují normalitu dat.

Jedním z neparametrických testů je jednovýběrový Wilcoxonův test, kde se testuje medián. Principem testu je hodnocení, zda přibližně polovina hodnot x_i je menších než předpokládaná referenční hodnota x_0 a cca polovina hodnot x_i větších než x_0 . Test spočívá ve spočítání diferencí y_i hodnot výběru x_i s referenční hodnotou x_0 , definované jako

$$y_i = x_i - x_0, \quad (10)$$

a v jejich následném vzestupném seřazení, přičemž výsledné difference jsou v absolutní hodnotě:

$$|y_{(1)}| < |y_{(2)}| < \dots < |y_{(n)}|. \quad (11)$$

Jednotlivým seřazeným diferencím y_i je přiřazeno pořadí R_i . Hodnotu testové statistiky získáme sečtením pořadí jednotlivě u původně kladných a původně záporných diferencí:

$$S^+ = \sum_{y_i > 0} R_i, \quad (12)$$

$$S^- = \sum_{y_i < 0} R_i. \quad (13)$$

Hodnotě testové statistiky odpovídá menší z těchto dvou hodnot

$$\min(S^+, S^-). \quad (14)$$

Obdobou nepárového dvouvýběrového t-testu je nepárový Mannův-Whitneyův test. Nulovou hypotézou v tomto případě je předpoklad stejného rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny v obou směrech. Principem výpočtu je nejdříve seřazení hodnot obou skupin dat x_i a y_i o rozsahu n_1 a n_2 dohromady. Testové statistiky U , U' určíme pomocí vzorců:

$$U = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{2} - T_1, \quad (15)$$

$$U' = n_1 n_2 - U, \quad (16)$$

kde T_1 odpovídá součtu pořadí hodnot příslušných první skupině. [34] [35]

Z obou testových statistik vybíráme větší z hodnot U , U' , kterou poté porovnáme s kritickou hodnotou z tabulek.

Poslední neparametrický test, o kterém bych se ráda zmínila je párový Wilcoxonův test. Stejně jako párový dvouvýběrový t-test slouží k porovnání dvou na sobě závislých výběrů. Nejprve je potřeba vypočítat difference odpovídajících si hodnot v rámci obou skupin dat. Poté dochází k přiřazení pořadí diferencím bez ohledu na znaménko. Následně se sečtou hodnoty pořadí kladných diferencí a poté záporných diferencí. Menší z obou hodnot je srovnána s kritickou hodnotou. [34] [35]

3.4 Korelace

Slouží k posouzení, zda spolu dva parametry nějak souvisí. Využívá se výpočtu korelačního koeficientu, který nabývá hodnot -1 až 1. V případě, že se korelační koeficient rovná jedné, znamená to, že spolu naprosto souvisí, v případě nuly spolu naopak vůbec nesouvisí a pokud je

výsledná hodnota záporná, parametry jsou záporně korelované. Výpočet korelace se provádí pomocí Pearsonova korelačního koeficientu nebo Spearmanova korelačního koeficientu.

Vzorec pro Pearsonův korelační koeficient dvou skupin dat x_i a y_i :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}. \quad (17)$$

Spearmanův korelační koeficient:

$$r_s = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ri} y_{ri} - n \bar{x}_r \bar{y}_r}{(n-1) s_{x_r} s_{y_r}}, \quad (18)$$

kde x_{ri} je pořadí hodnoty x_i v rámci vzestupně uspořádaných hodnot, y_{ri} je pořadí hodnoty y_i v rámci vzestupně uspořádaných hodnot, n je rozsah hodnot, $\bar{x}_r, \bar{y}_r$ průměry hodnot x_{ri} a y_{ri} , čísla s_{x_r} a s_{y_r} odpovídají směrodatným odchylkám. [34] [35]

4 Analýza dat naměřených u sportovců

v rámci dvou ultra vytrvalostních závodů

4.1 Naměřená data

Cílem praktické části této práce je statistické zhodnocení dat pomocí nástroje vytvořeného v Matlabu. Úkolem je posouzení změn imunologických a biochemických parametrů po ukončení závodů na základě odebraných vzorků krve závodníků před závodem a po závodě. Podrobné informace o stanovení hodnot parametrů z běžeckého závodu nalezneme v článku [12] či v diplomové práci [37]. Z imunologických parametrů jsme se zabývali leukocyty a imunoglobuliny A a M. V případě biochemických parametrů nás zajímaly enzymy alaninaminotransferáza, laktátdehydrogenáza a kreatinkináza, dále anorganické látky jako jsou sodné a draselné ionty, posledním parametrem byl kreatinin.

Data byla poskytnuta Mgr. Danielou Chlíbařovou, Ph.D. z Centra sportovních aktivit VUT a doc. RNDr. Alenou Žákovskou, Ph.D. z Ústavu experimentální biologie na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity. Soubor ve formátu .xls obsahuje dvě skupiny dat. První skupinu tvoří jedinci, kteří se účastnili cyklistického závodu MTB na 24 hodin, který se odehrál v Jihlavě roku 2013, kde bylo testováno celkem 23 vzorků. Druhá skupina dat je zastoupena závodníky běžeckého závodu na 100 km, uskutečněného v Plzni v letech 2012 a 2013. Námi testovaná skupina je tvořena 24 vzorky, získaných z obou ročníků běžeckého závodu. Níže je podrobnější popis obou závodů.

MTB

Jedná se o cyklistický závod na 24 hodin, který se odehrál v roce 2013 v Jihlavě. Jeden okruh trati je dlouhý 8 km s převýšením 200 m. Trasu tvoří zejména nejrozmanitější terén, jako je jízda po kořenech, schodech, apod. Část okruhu tvoří i silnice, kde si musí dát závodníci pozor, jelikož závod se koná za plného silničního provozu. [38]

Běh na 100 km

Závod v běhu na 100 km se odehrál v letech 2012 a 2013 ve Štruncových sadech v Plzni. Okruh je dlouhý 1500 m s celkovým převýšením 1,5 m. Běžce tedy čeká necelých 67 kol. Závodníci musí zdolat trať tvořenou asfaltovou silnicí a chodníkem. [39]

V tabulce 4.1 jsou uvedeny počty vzorků u jednotlivých parametrů a závodů. Jak si můžeme všimnout, množství kreatininu, sodných a draselných iontů nebylo u běžeckého závodu stanoveno. Naopak u cyklistického závodu oproti běžeckému chybí hodnoty kreatinkinázy. Tyto parametry proto nemohly být srovnávány navzájem mezi oběma typy závodů.

Tab. 4.1: Počet vzorků v jednotlivých závodech

	100 km běh		MTB	
	Před	Po	Před	Po
LEU	21	21	18	18
KREA	-	-	18	18
IgA	24	24	12	12
IgM	24	24	17	17
CK	15	15	-	-
ALT	24	24	12	12
LDH	24	24	12	12
Na⁺	-	-	18	18
K⁺	-	-	18	18

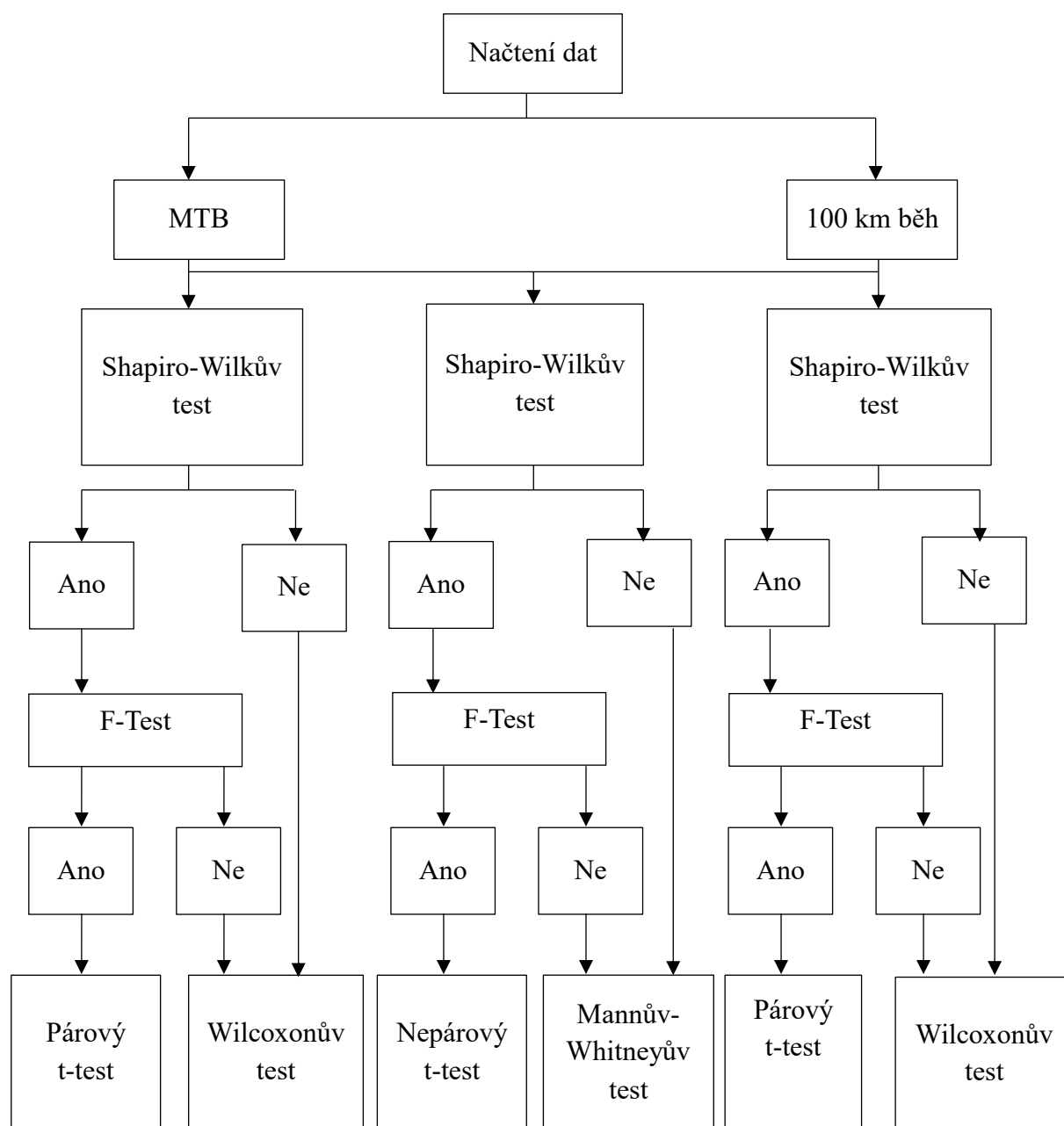
V tabulce 4.2 jsou uvedeny fyziologické hodnoty měřených parametrů. Tyto referenční hodnoty jsou využity v interpretaci výsledků, kde jsou hodnoty jednotlivých parametrů srovnávány s příslušnými referenčními hodnotami.

Tab. 4.2: Fyziologické hodnoty měřených parametrů

Parametr	Fyziologické hodnoty
LEU	4-10 x 10 ⁹ /l
KREA	44-114 μmol/l
ALT	0,1-0,8 μkat/l
LDH	do 4,1 μkat/l
IgA	70-400 mg/dl
IgM	40-230 mg/dl
CK	0-3,17 μkat/l
Na⁺	132-145 mmol/l
K⁺	3,8-5,1 mmol/l

Co se týče využitých statistických metod, blokové schéma postupu statistické analýzy dat je zobrazeno na obrázku 10. Z jednotlivých skupin dat je určeno pomocí Shapiro-Wilkova testu, zda se jedná o data s normálním rozložením. V případě, že data normální rozložení

vykazují, pomocí F-testu zjistíme, či obě skupiny dat mají stejné rozptyly. Na základě těchto poznatků lze určit vhodný statistický test. Pokud budeme chtít porovnávat data naměřená před závodem a po závodě v rámci jednoho typu závodu, použijeme parametrický párový t-test nebo neparametrický Wilcoxonův test. V opačném případě, kdy budeme srovnávat různé skupiny dat z cyklistického závodu a běhu na 100 km, využijeme parametrický nepárový t-test nebo neparametrický Mannův-Whitneyův test. O tom, zda bude použit parametrický či neparametrický test rozhoduje již zmíněná normalita a shodné rozptyly dat. Pokud data tyto podmínky splňují lze využít parametrických testů.



Obr. 10: Blokové schéma postupu statistické analýzy dat

4.2 Program pro analýzu dat

K vytvoření nástroje pro statistické zhodnocení zadaných dat byl využit program Matlab. Bylo vytvořeno grafické rozhraní pomocí GUI (viz Obr. 11). Umožňuje vypočtení nejzákladnějších popisných statistik jako je průměr, medián, první a třetí kvartil a směrodatná odchylka. Dále program zjistí, zda data vykazují normální rozložení a mají shodné rozptyly. Na základě těchto poznatků program vyhodnotí pomocí vhodného statistického testu, jestli došlo ke statisticky významné změně mezi daty či nikoli. Další funkcí programu je možnost grafického znázornění dat. K tomu slouží krabicový graf, Q-Q graf a histogram normality. Q-Q graf a histogram normality slouží ke grafickému zhodnocení, zda se jedná o normální rozložení. Poslední funkcí je možnost uložení výsledků statistické analýzy dat. Jednotlivé grafy lze uložit samozřejmě také, pomocí ikonky pro ukládání a zvolit si požadovaný formát obrázku.

BP

Soubor

Načtení dat

Procházet C:\Users\Monika\Desktop\BAKALÁŘKA\BP 18.5\data\B_IgM_pr.mat

Procházet C:\Users\Monika\Desktop\BAKALÁŘKA\BP 18.5\data\B_IgM_po.mat

Nastavení testování

Testování jedinců před a po závodě Alpha: 0.05 Vyhodnotit

Základní popisná statistika

Data1		Data2	
Průměr:	100.1303	Průměr:	103.482
1. kvartil:	55.2841	1. kvartil:	52.7386
Medián:	63.5568	Medián:	93.7841
3. kvartil:	138.4091	3. kvartil:	133.6364
STD:	64.12	STD:	63.1758

Normalita dat

Data1	Data2
Normalita: ano	Normalita: ano

Výsledky statistického testu

p-hodnota: 0.46531 Použitý test: Wilcoxonův test

Závěr: Nedochozí ke statisticky významné změně

Grafická vizualizace Uložit Nový Zavřít

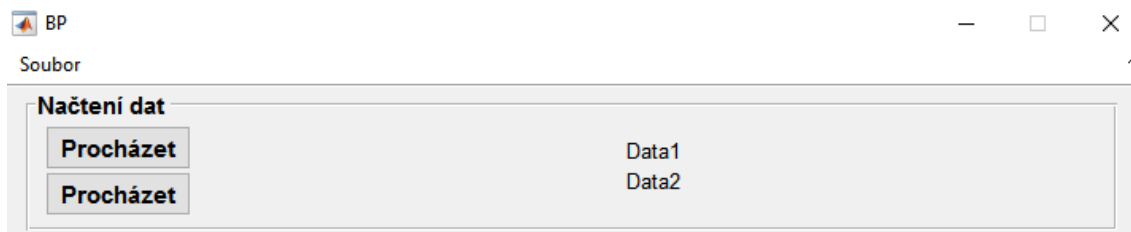
Obr. 11: Grafické rozhraní programu pro analýzu dat sportovců

Ovládání programu

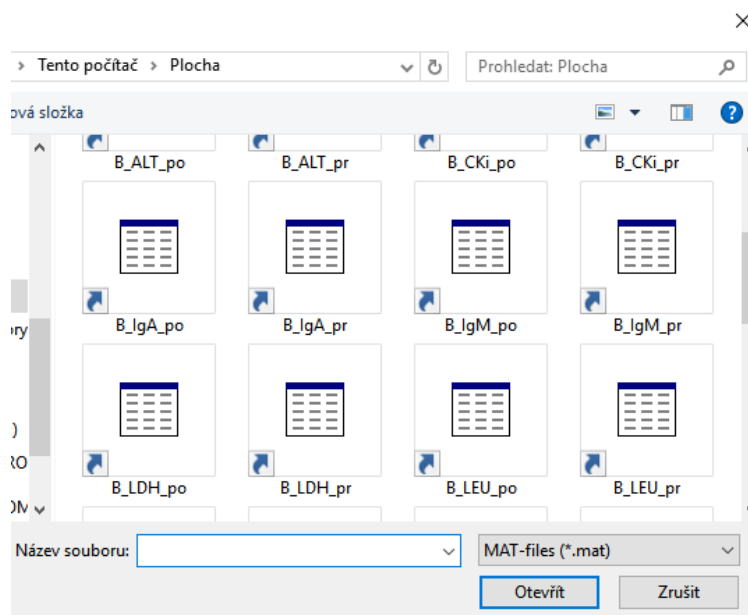
Po stisknutí tlačítka *Procházet* (viz Obr. 12), se objeví okno (viz Obr. 13), ve kterém lze vybrat požadovaná data. Jednotlivá data jsou uložena ve formátu .mat. Data jsou uložena pod jasně definovanými názvy. Tyto názvy mají dohromady osm znaků. První znak určuje, o který typ závodu se jedná (C – cyklistický závod MTB, B – běžecký závod na 100 km). Třetí až pátý znak stanovuje měřený parametr, viz tabulka 4.3. Poslední dva znaky nám říkají, zda jde o data měřená před závodem či po závodě (pr – před závodem, po – po závodě).

Tab. 4.3: Zkratky jednotlivých parametrů

Zkratka	Parametr
LEU	Leukocyty
KRE	Kreatinin
ALT	Alaninaminotransferáza
LDH	Laktátdehydrogenáza
IgA	Imunoglobulin A
IgM	Imunoglobulin M
CKi	Kreatinkináza
Naa	Sodné ionty
KKK	Draselné ionty



Obr. 12: Část grafického rozhraní pro načtení dat

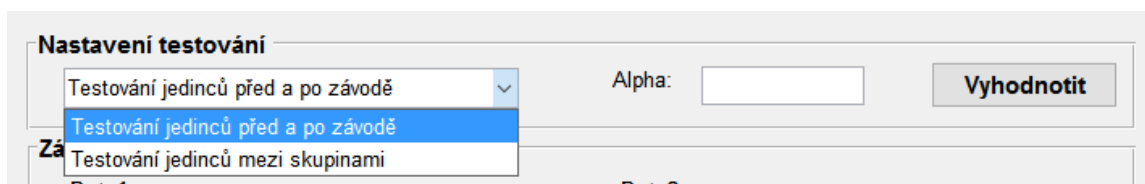


Obr. 13: Okno pro zvolení potřebných dat

Dalším krokem po načtení dat je nastavení testování (viz Obr. 14). Jestliže budeme chtít testovat data naměřená před závodem a po závodě v rámci jednoho typu závodu, např. IgA před a IgA po běžeckém závodě na 100 km, vybereme možnost „*Testování jedinců před a po závodě*“. V opačném případě, kdy budeme chtít srovnávat data např. IgA před běžeckým závodem a IgA před cyklistickým závodem MTB, zvolíme možnost „*Testování jedinců mezi skupinami*“.

Dále je potřeba zadat hladinu významnosti *Alpha*, na které budou data testována. Alpha musí nabývat hodnot z intervalu (0,1), což je ošetřeno v samotném programu. V případě zadání neodpovídající hodnoty, vyskočí upozorňující okno a je potřeba zadat hodnotu hladiny významnosti znovu, dokud nebude ve správném formátu.

Po stisknutí tlačítka *Vyhodnotit*, program vypočítá základní popisné statistiky, viz obrázek 15, dále určí normalitu obou souborů dat a nakonec stanoví pomocí vhodného statistického testu na základě vypočtené p-hodnoty, zda zadané parametry vykazují statisticky významnou změnu.



Obr. 14: Část grafického rozhraní pro výběr způsobu testování

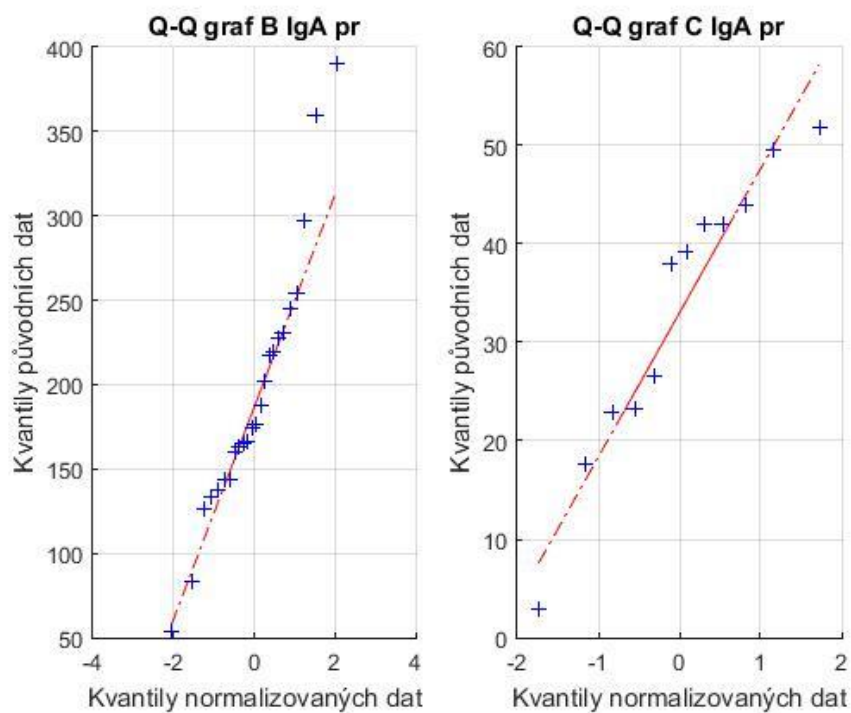
Základní popisná statistika	
Data1	Data2
Průměr: 100.1303	Průměr: 103.482
1. kvartil: 55.2841	1. kvartil: 52.7386
Medián: 63.5568	Medián: 93.7841
3. kvartil: 138.4091	3. kvartil: 133.6364
STD: 64.12	STD: 63.1758
Normalita dat	
Data1	Data2
Normalita: ano	Normalita: ano
Výsledky statistického testu	
p-hodnota: 0.46531	Použitý test: Wilcoxonův test
Závěr: Nedochází ke statisticky významné změně	

Obr. 15: Základní popisné statistiky, které jsou po stisknutí tlačítka vyhodnotit, vypočteny

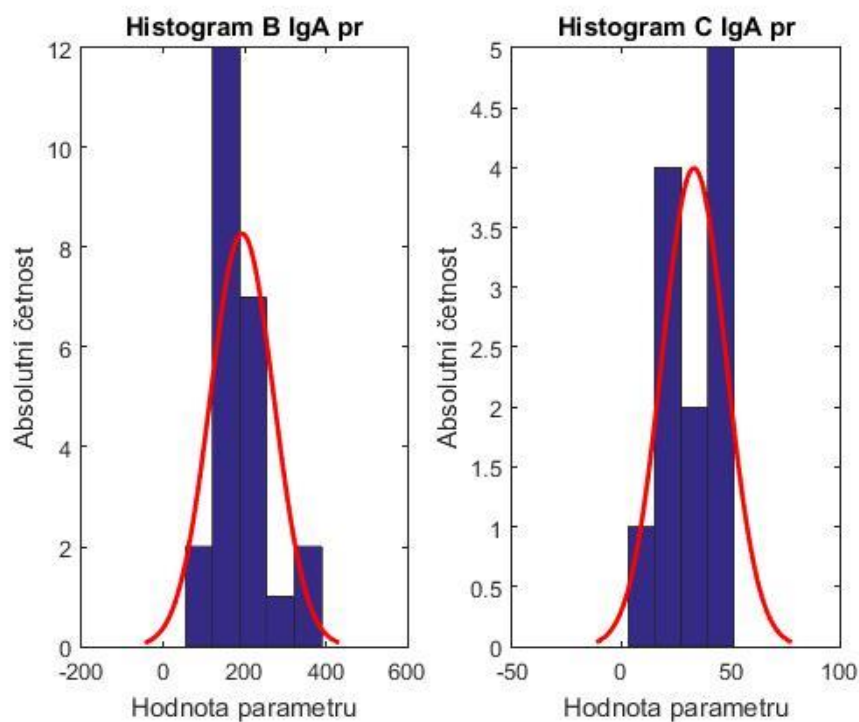
Program také umožňuje grafické znázornění dat a to pomocí tlačítka *Grafická vizualizace* (viz Obr. 16). Po jeho stisknutí se objeví 4 grafy. Pro grafické znázornění normality dat slouží *Q-Q graf* (viz Obr.17) a *Histogram* (viz Obr. 18). Q-Q graf je kvantil-kvantil graf, ve kterém jsou znázorněny teoretické kvantily vůči naměřeným. Dalším grafem je *Boxplot* (viz Obr. 19). Boxplot neboli krabicový graf, je grafické znázornění dat pomocí jejich kvartilů. Krabicová část je ohraničena zespodu 1. kvantilem (25 % dat), shora 3. kvantilem (75% dat). V krabicové části se nachází linie, která znázorňuje medián (50 % dat). Odlehlé hodnoty jsou vyznačeny jako jednotlivé body. Posledním grafem je také *Boxplot*, avšak se znázorněnými liniemi, vymezující referenční hodnoty dat.

Grafická vizualizace	Uložit	Nový	Zavřít
-----------------------------	---------------	-------------	---------------

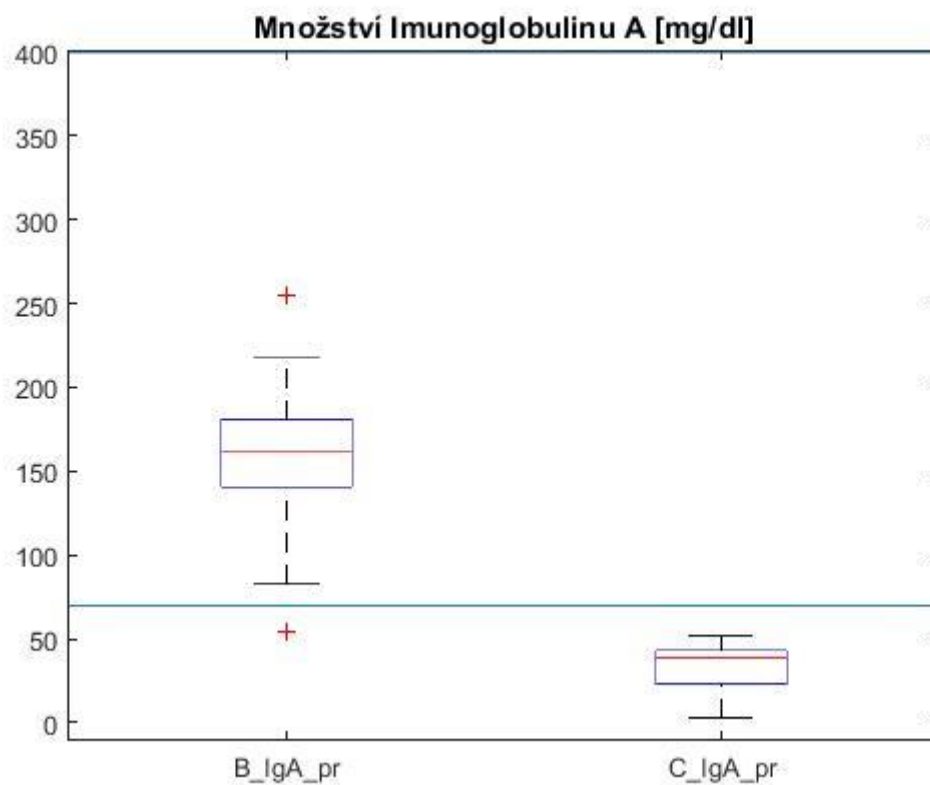
Obr. 16: Část grafického rozhraní umožňující grafické zobrazení dat



Obr. 17: Q-Q graf pro ověření normality dat IgA před běžeckým a cyklistickým závodem



Obr. 18: Histogram normality dat IgA naměřených před běžeckým a cyklistickým závodem



Obr. 19: Boxplot zobrazující data imunoglobulinu A naměřená před běžeckým a cyklistickým závodem

Nakonec je možné uložení výsledků statistické analýzy do excelu. V tomto případě se jedná o formát .xls. Pro tuto funkci slouží tlačítko *Uložit* (viz Obr. 16), po jehož stisknutí dojde k okamžitému uložení dat, které si následně můžeme prohlédnout v excelu, viz Obr. 20.

Schránka		Pismo		Za	
P21					
	A	B	C	D	E
1	parametr:	lgM_pr			
2	průměr:	100.1303			
3	1. kvartil:	55.2841			
4	medián:	63.5568			
5	3. kvartil:	138.4091			
6	STD:	64.12			
7	normalita dat:	ano			
8	p-hodnota:	0,095059			
9					
10	parametr:	lgM_po			
11	průměr:	103.482			
12	1. kvartil:	52.7386			
13	medián:	93.7841			
14	3. kvartil:	133.6364			
15	STD:	63.1758			
16	normalita dat:	ano			
17	p-hodnota:	0,095059			
18					
19	alpha:	0.05			
20	Výsledek testu:	Nedochází ke statisticky významné změně			
21	p-hodnota testu:	0.46531			
22					

Obr. 20: Výsledky statistické analýzy uložené ve formátu .xls

4.3 Výsledky statistické analýzy dat

V této podkapitole se nachází výsledky statistické analýzy dat. Veškeré parametry byly testovány na hladině významnosti 0,05.

V tabulce 4.4 jsou vypočtené hodnoty průměrů, směrodatných odchylek, 1. a 3. kvartilů a mediánů jednotlivých parametrů. Jedná se o měřené parametry u vytrvalostních běžců na 100 km. Již z průměrů jednotlivých parametrů si lze všimnout některých změn. Např. v případě leukocytů se jejich průměr navýšil z původních $4,99 \times 10^9/l$ naměřených před závodem na $13,20 \times 10^9/l$ naměřených po závodě. Hodnota leukocytů se zvýšila o 164,5 %. Procentuální změna byla vypočtena prostou trojčlenkou, kdy je za 100 % brána průměrná hodnota parametru před závodem a počítána je procentuální hodnota průměru parametru po závodě. Abychom získali procentuální změnu mezi průměrem před a po závodě je potřeba vypočítanou hodnotu snížit o 100. K nevýraznému navýšení hodnot došlo také u imunoglobulinu A (6,3 %) a imunoglobulinu M (3,3 %). K nepřehlédnutému vzrůstu hodnot došlo u kreatinkinázy, kde z původních $4,25 \mu\text{kat/l}$ hodnoty stouply na $50,09 \mu\text{kat/l}$ (1078,6 %). K navýšení došlo také u laktátdehydrogenázy (49,6 %). Naopak hladina enzymu alaninaminotransferázy je téměř beze změny.

Tab. 4.4: Popisné statistiky měřených parametrů vytrvalostních běžců na 100 km

	1. kvartil		Průměr±STD		Medián		3. kvartil	
	Před	Po	Před	Po	Před	Po	Před	Po
LEU	3,66	8,69	$4,99 \pm 1,84$	$13,20 \pm 5,36$	4,69	13,90	5,53	17,45
IgA	144,04	128,17	$194,05 \pm 77,81$	$206,21 \pm 119,91$	175,39	166,83	229,06	296,14
IgM	55,28	52,74	$100,13 \pm 64,12$	$103,48 \pm 63,18$	63,56	93,78	138,41	133,64
ALT	0,14	0,10	$0,18 \pm 0,08$	$0,18 \pm 0,10$	0,17	0,17	0,20	0,24
LDH	0,91	1,45	$1,35 \pm 0,59$	$2,02 \pm 0,82$	1,10	1,81	1,76	2,31
CK	2,52	20,57	$4,25 \pm 2,74$	$50,09 \pm 60,08$	3,16	23,46	6,12	55,78

V tabulce 4.5 jsou vypsané jednotlivé popisné statistiky získané z naměřených dat u cyklistického závodu na 24 hodin. Opět jsou zde uvedeny hodnoty průměrů, směrodatných odchylek, 1. a 3. kvartilů a mediánů. K navýšení hodnot průměrů došlo u leukocytů (105,2 %) a kreatininu (27,6 %), nepatrně zvýšené hodnoty vykazuje imunoglobulin A (5,3 %). K nevýraznému snížení došlo u laktátdehydrogenázy (2,3 %). K výraznějšímu poklesu hodnot došlo u draselných iontů (18,5 %) a imunoglobulinu M (12,7 %).

Tab. 4.5: Popisné statistiky měřených parametrů vytrvalostních cyklistů MTB v Jihlavě

	1. kvartil		Průměr±STD		Medián		3. kvartil	
	Před	Po	Před	Po	Před	Po	Před	Po
LEU	5,10	10,30	5,75±1,29	11,80±3,08	5,30	11,45	6,50	14,70
KREA	74,00	88,00	80,06±10,75	102,17±17,78	79,50	101,50	89,00	108,00
IgA	23,04	25,28	33,30±14,62	35,05±18,61	38,61	35,80	42,96	49,41
IgM	55,56	49,95	60,23±6,54	52,60±10,43	59,90	52,06	65,61	58,34
ALT	0,04	0,05	0,07±0,04	0,07±0,03	0,07	0,07	0,10	0,09
LDH	1,16	1,16	1,32±0,29	1,29±0,24	1,27	1,28	1,43	1,47
Na⁺	138,00	136,00	138,22±1,17	137,00±1,75	138,00	137,00	139,00	138,00
K⁺	5,20	4,20	5,61±0,59	4,57±0,39	5,65	4,55	5,90	4,90

Tabulka 4.6 udává informace, která data vykazují normální rozložení. Normalita byla stanovena pomocí Shapiro-Wilkova testu na základě získané p-hodnoty. Veškerá data byla testována na hladině významnosti 0,05. V případě cyklistického závodu MTB téměř všechna data jsou normálního rozložení. Výjimku tvoří imunoglobulin M naměřený po závodě. V druhém případě se jedná spíše o data, která nejsou normálního rozložení. Normalitu vykazují pouze leukocyty, dále imunoglobulin A naměřený před závodem a alaninaminotransferáza naměřená po závodě.

Tab. 4.6: Normalita hodnot obou závodů

	MTB				100 km běh			
	p-hodnota		normální rozložení $\alpha = 0,05$		p-hodnota		normální rozložení $\alpha = 0,05$	
	Před	Po	Před	Po	Před	Po	Před	Po
LEU	0,3444	0,7318	ano	ano	0,0950	0,5756	ano	ano
KREA	0,3726	0,4041	ano	ano	-	-	-	-
IgA	0,3768	0,5506	ano	ano	0,1751	0,0230	ano	ne
IgM	0,7444	0,0009	ano	ne	0,0002	0,0102	ne	ne
ALT	0,7405	0,5188	ano	ano	0,0039	0,1732	ne	ano
LDH	0,2151	0,9611	ano	ano	0,0065	0,0006	ne	ne
Na⁺	0,0831	0,4310	ano	ano	-	-	-	-
K⁺	0,6803	0,6387	ano	ano	-	-	-	-
CK	-	-	-	-	0,0033	0,00003	ne	ne

V tabulce 4.7 jsou vypočtené normality hodnot diferencí u obou závodů. To využijeme, pokud chceme testovat data naměřená před a po závodě v rámci jednoho závodu. Diference hodnot vykazují ve většině případů normální rozložení dat s výjimkou imunoglobulinu M u cyklistického závodu a enzymu laktátdehydrogenázy a kreatinkinázy u běžeckého závodu.

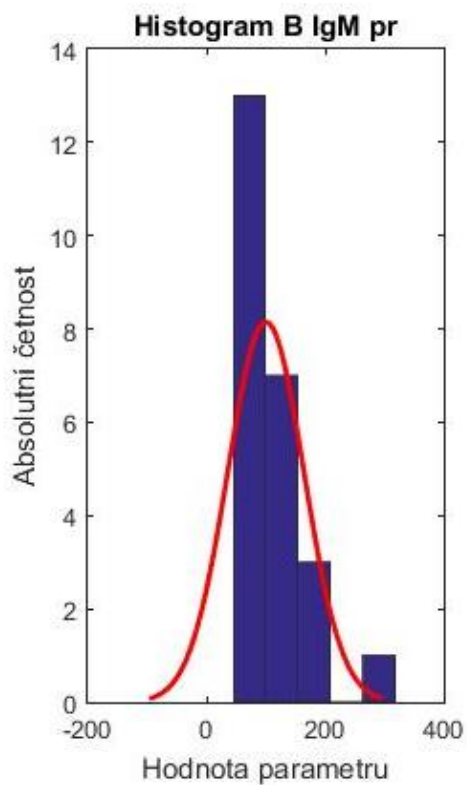
Tab. 4.7: Normalita hodnot diferencí obou závodů pro testování před a po závodě

	MTB		100 km běh	
	p-hodnota	normální rozložení $\alpha = 0,05$	p-hodnota	normální rozložení $\alpha = 0,05$
LEU	0,2095	ano	0,9512	ano
KREA	0,9336	ano	-	-
IgA	0,4292	ano	0,6949	ano
IgM	0,00006	ne	0,0951	ano
ALT	0,8874	ano	0,6475	ano
LDH	0,0581	ano	0,0445	ne
Na⁺	0,1441	ano	-	-
K⁺	0,2205	ano	-	-
CK	-	-	0,00004	ne

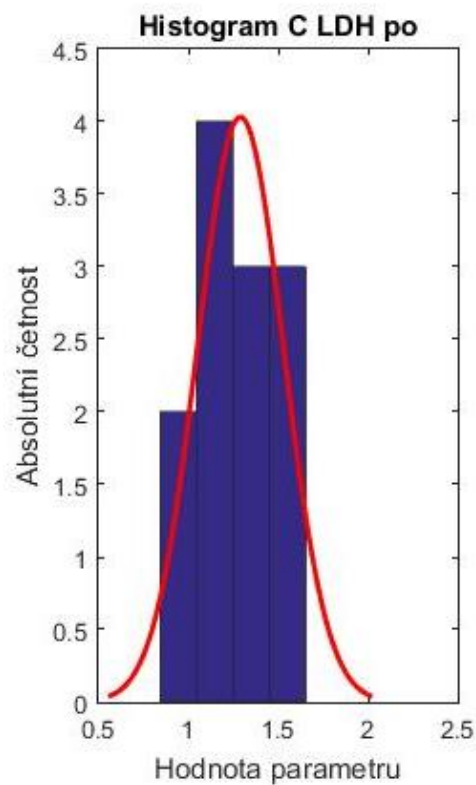
Na následujících obrázcích jsou znázorněny histogramy a Q-Q grafy imunoglobulinu M a enzymu LDH. Z těchto grafů lze také posoudit, zda se jedná o normální rozložení dat.

Co se týče histogramu, je v něm vykreslena křivka, která znázorňuje ideální normální rozložení. Pokud se rozložení zkoumaných dat blíží právě této křivce, znamená to, že data normalitu vykazují. Na obrázku 21 je znázorněn histogram IgM naměřeného před běžeckým závodem. Můžeme si všimnout, že tato data rozhodně nejsou normálního rozložení, jelikož se svým rozložením nepřibližují znázorněné křivce. Naopak enzym LDH naměřený po cyklistickém závodě (Obr. 22), křivku téměř kopíruje. V tomto případě můžeme říci, že tento soubor dat nabývá normálního rozložení.

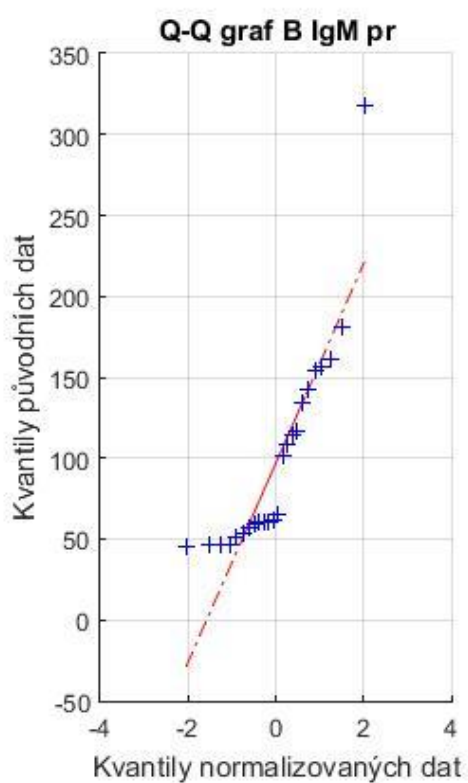
To samé platí pro Q-Q graf. Pokud se jednotlivé body přibližují svým rozložením znázorněné křivce, jedná se o normální rozložení. Opět si můžeme všimnout, že IgM normalitu nepotvrzuje (viz Obr. 23). Enzym LDH normálnímu rozložení odpovídá, jelikož se jednotlivé body nachází v těsném okolí přímky (viz Obr. 24). Výsledky si můžeme ověřit v tabulce 4.6.



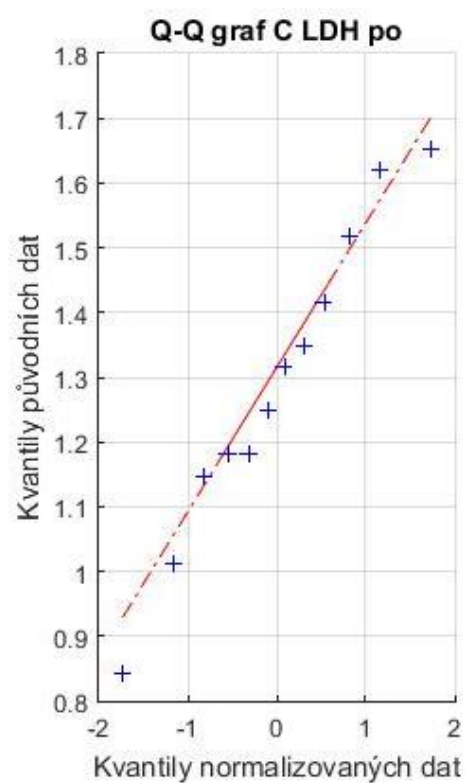
Obr. 21: Histogram IgM před závodem



Obr. 22: Histogram enzymu LDH po závodě



Obr. 23: Q-Q graf IgM před závodem



Obr. 24: Q-Q graf enzymu LDH po závodě

Statistické zhodnocení změn hodnot parametrů před a po závodě znázorňuje tabulka 4.8. Statisticky významnou změnu vykazují leukocyty a to v obou typech závodů. Dále kreatinin, imunoglobulin M, sodné a draselné ionty v případě cyklistického závodu. Po běžeckém závodě na 100 km se významně změnily kreatinkináza a laktátdehydrogenáza.

Tab. 4.8: Statistické zhodnocení změn hodnot parametrů před a po závodě

	MTB		100 km běh	
	p-hodnota	statisticky význ. změna $\alpha = 0,05$	p-hodnota	statisticky význ. změna $\alpha = 0,05$
LEU	0,0000001	ano	0,00000008	ano
KREA	0,0000108	ano	-	-
IgA	0,6220700	ne	0,4811000	ne
IgM	0,0016440	ano	0,4653100	ne
ALT	0,6210900	ne	0,9878700	ne
LDH	0,9785200	ne	0,0011254	ano
Na⁺	0,0360110	ano	-	-
K⁺	0,0004541	ano	-	-
CK	-	-	0,0000610	ano

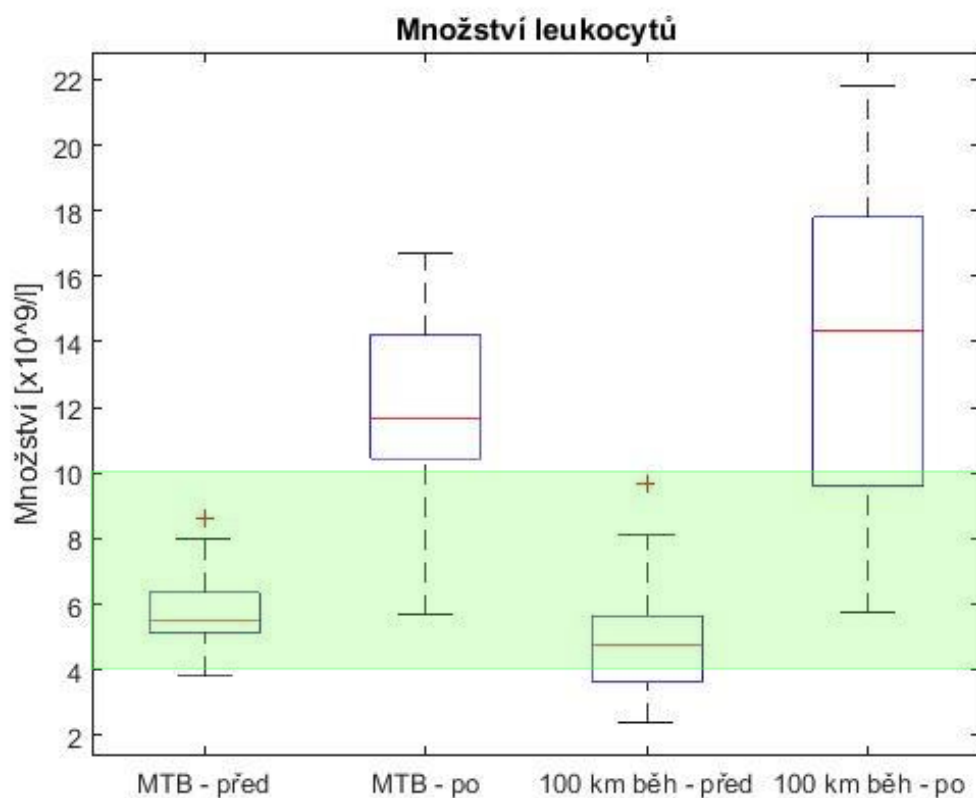
Výsledky statistického testování změn hodnot parametrů mezi oběma skupinami uvádí tabulka 4.9. Jedná se o testování hodnot např. leukocytů naměřených před cyklistickým závodem společně s leukocyty naměřenými před běžeckým závodem. Takto měřené parametry vykazují statisticky významné změny v případě imunoglobulinu A naměřeného před i po závodě, dále imunoglobulinu M naměřeného po závodech a hladiny enzymu laktátdehydrogenázy naměřené po závodech. Statisticky významnou změnu vykazuje taktéž enzym alaninaminotransferáza a to v obou případech.

Tab. 4.9: Statistické zhodnocení změn hodnot parametrů mezi skupinami

	Před		Po	
	p-hodnota	statisticky význ. změna $\alpha = 0,05$	p-hodnota	statisticky význ. změna $\alpha = 0,05$
LEU	0,15070000	ne	0,33410000	ne
IgA	0,000000005	ano	0,00000150	ano
IgM	0,16470000	ne	0,00000007	ano
ALT	0,00002930	ano	0,00033780	ano
LDH	0,35600000	ne	0,00058190	ano

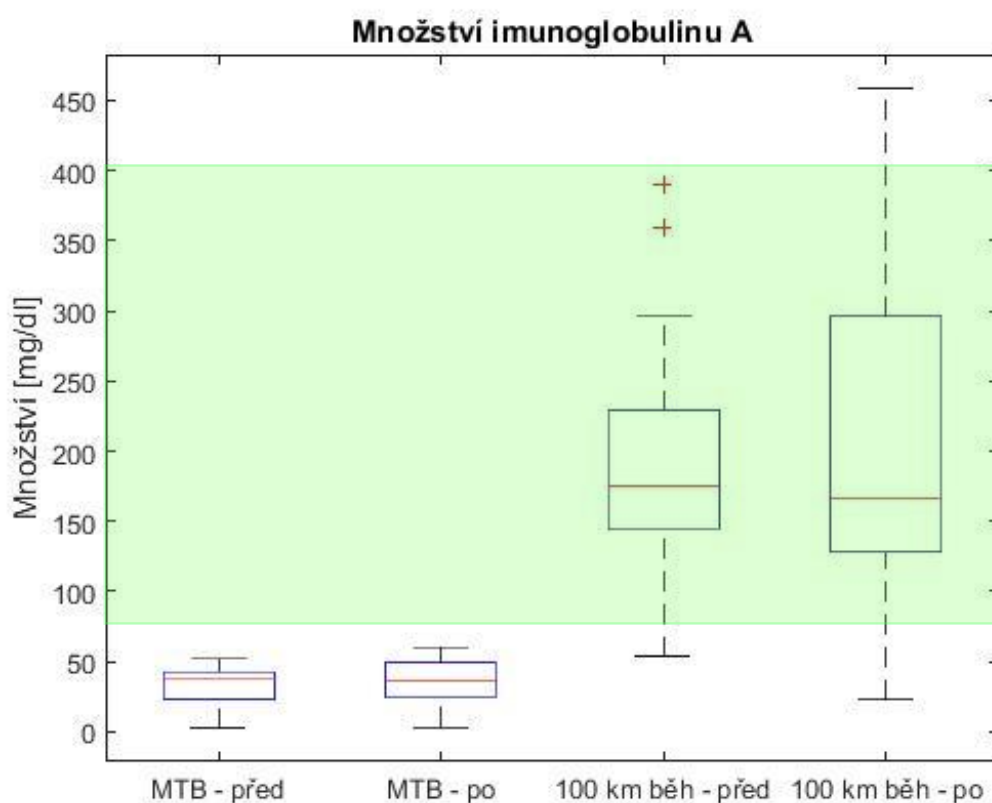
Níže jsou graficky prezentovány parametry, u nichž bylo dosaženo nejvýznamnějších a nejzajímavějších výsledků statistické analýzy. Rozložení ostatních parametrů jsou uvedeny v Příloze A. V následujících grafech jsou zobrazena data naměřená před a po závodě a to jak po běžeckém, tak cyklistickém (pokud dané parametry byly měřeny). Tyto grafy jsou tedy vhodné i pro porovnání dat mezi oběma typy závodů. Zelený prostor znázorňuje fyziologické hodnoty parametrů (viz Tab. 4.2).

Na obrázku 25 jsou zobrazeny změny v množství leukocytů mezi daty naměřenými před a po běžeckém závodě na 100 km a cyklistickém závodě na 24 hodin. Hodnoty se mezi oběma typy závodů nijak významně neliší, což dokazují výsledky z tabulky 4.9. Množství bílých krvinek před závodem se ve většině případů nachází ve fyziologickém rozmezí. Kdežto hodnoty naměřené po závodech se významně zvýšily (viz Tab. 4.8), jak je patrné z grafu. Většina hodnot leukocytů vzrostla až mimo fyziologické rozmezí.



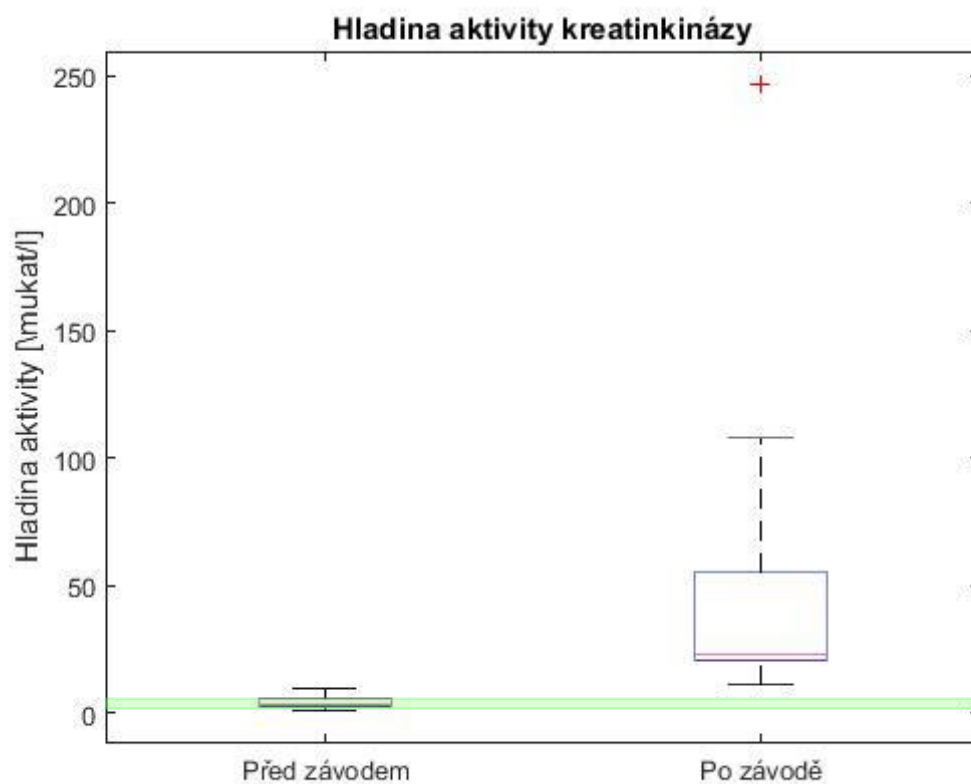
Obr. 25: Grafické znázornění změny množství leukocytů před a po závodě u obou typů závodů

Dalším měřeným parametrem je imunoglobulin A. Na obrázku 26 jsou zobrazeny změny jeho množství mezi daty naměřenými před a po obou typech závodů. Můžeme si všimnout, že hodnoty imunoglobulinu A jsou celkově výrazně vyšší u běžeckého závodu než u cyklistického závodu. U běžeckého závodu se téměř všechny hodnoty naměřené před i po závodě nachází ve fyziologickém rozmezí. Což se nedá říci u cyklistického závodu, zde hodnoty naměřené před i po závodě jsou naopak mimo fyziologické rozmezí. Z grafu také patrné, že nedochází k žádné výrazné změně mezi daty před závody a po závodech, což potvrzuje výsledky statistické analýzy z tabulky 4.8.



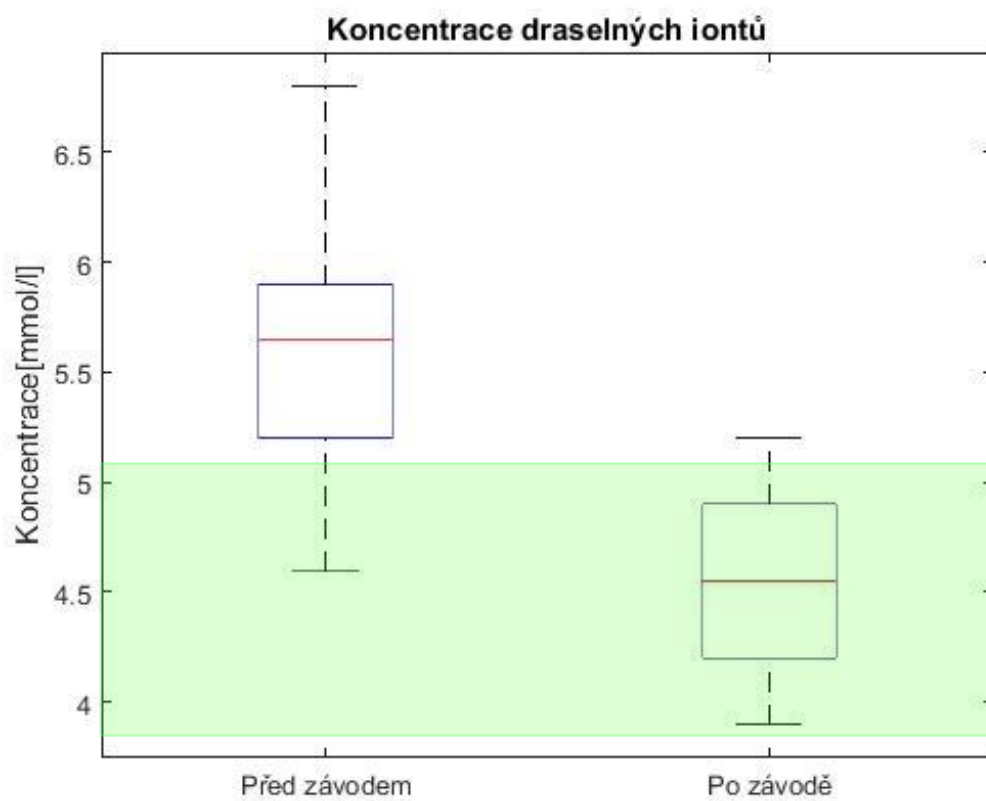
Obr. 26: Grafické znázornění změny množství IgA před a po závodě u obou typů závodů

Na obrázku 27 je znázorněna změna hladiny aktivity enzymu kreatinkinázy naměřené před a po běžeckém závodě na 100 km. V grafu je vidět, že původní hodnoty naměřené před závodem, spadají do fyziologického rozmezí. Po závodě došlo k výraznému navýšení hodnot kreatinkinázy, což je v souladu s výsledkem Wilcoxonova testu (viz Tab. 4.8). Hladina CK všech jedinců se po skončení závodu pohybuje mimo fyziologické hodnoty.



Obr. 27: Grafické znázornění změny hladiny aktivity kreatinkinázy před a po běžeckém závodě

Obrázek 28 zobrazuje změnu množství draselných iontů před a po cyklistickém závodě MTB. V tomto případě je zajímavé, že množství draselných iontů naměřených před závodem, se nachází mimo fyziologické rozmezí. To může být způsobeno v důsledku stresu, který je způsoben nevhodným odběrem krve. Přičemž jejich množství po závodě výrazně kleslo, což si odpovídá s výsledkem testu z tabulky 4.8. Množství draselných iontů naměřené po závodě vykazuje fyziologické hodnoty.



Obr. 28: Grafické znázornění změny množství draselných iontů před a po cyklistickém závodě

5 Diskuze

Obecně je známo, že fyzická zátěž má na lidský organismus pozitivní vliv, což není pravda v každém případě. Fyzická zátěž je pro člověka prospěšná pouze do určité míry. Právě ultravytrvalostní závody, které jsou předmětem této práce, mají na lidské zdraví spíše negativní vliv. Dochází k několika změnám, které mohou vést až k patologickým jevům. Dlouhotrvající nadměrná fyzická zátěž je doprovázena tvorbou lokálního zánětu a poškozením svalů, dochází k trhlinkám svalových vláken, dále přechodně potlačuje obranyschopnost a zvyšuje pravděpodobnost infekčního onemocnění, zatěžuje játra a ledviny, narušuje iontovou rovnováhu. [6][13]

Důležitým imunologickým parametrem je koncentrace imunoglobulinů M a A. *Imunoglobulin M* tvoří společně s leukocyty první obrannou linii organismu při setkání s antigenem. Není předpokládán nárůst ani pokles koncentrace tohoto imunoglobulinu vlivem extrémní sportovní zátěže. *Imunoglobulin A* má na starost slizniční imunitu, zejména v sliznici horních dýchacích cest a gastrointestinálního traktu. Je spolu s imunoglobulinem G součástí druhé obranné reakce organismu. Studie uvádí, že během ultravytrvalostních závodů dochází k mírnému poklesu koncentrace IgA v krvi. [6][33]

Imunoglobuliny A a M u *běžců na 100 km* nevykazují statisticky významné změny (IgA: $p = 0,481$, IgM: $p = 0,465$). U obou typů imunoglobulinů došlo k mírnému navýšení hodnot. U *imunoglobulinu A* se hodnoty vyšplhaly z původních $194,05 \pm 77,81$ mg/dl na $206,21 \pm 119,91$ mg/dl, tedy o 6,3 %. Co se týče *imunoglobulinu M*, jeho množství se zvýšilo z hodnot naměřených před závodem $100,13 \pm 64,12$ mg/dl na množství $103,48 \pm 63,18$ mg/dl naměřeného po závodě. V tomto případě nárůst činil 3,3 %.

U *sportovců MTB* byla zjištěna statisticky významná změna hladiny imunoglobulinu M ($p = 0,002$). Hladina imunoglobulinu A se nijak významně neliší ($p = 0,622$). Množství *imunoglobulinu M* kleslo z původního množství $60,23 \pm 6,54$ mg/dl na $52,60 \pm 10,43$ mg/dl. Tento pokles činí 12,7 %. Hladina *imunoglobulinu A* vzrostla z $33,30 \pm 14,62$ mg/dl na $35,05 \pm 18,61$ mg/dl, tedy o 5,3%.

V případě běžeckého závodu jsou hodnoty imunoglobulinů A a M v rozmezí referenčních hodnot, a to i po stanovení jejich množství po závodě. Naopak je tomu u cyklistického závodu, zde se všechny hodnoty naměřené před o po závodě nachází mimo referenční rozmezí 70 až 400 mg/dl. Avšak množství imunoglobulinu A je u sportovců velice

individuální, takže hodnoty, které se nachází mimo referenční hodnoty, nemusí nutně poukazovat na patologický stav jedince. Ve srovnání s dostupnými zdroji nedošlo k poklesu imunoglobulinu A v cyklistickém ani běžeckém závodě, jak bylo předpokládáno. Hodnoty IgM u všech cyklistů, až na jednu výjimku, spadají do referenčního rozmezí 40 až 230 mg/dl.

Ke změnám hladin imunoglobulinů mohlo dojít v rámci odezvy na tkáňové poškození následkem extrémní fyzické zátěže. Změny v koncentracích imunoglobulinů závisí na povaze a délce trvání zátěže. Na což lze usuzovat dle srovnání, uvedené v práci [36]. Zde byly srovnány hladiny imunoglobulinu M po 90 km, kde došlo ke značnému snížení hodnot, po tříhodinovém běhu maratonského tempa, hladina IgM vzrostla o 7,2 %. Po 12 ti měsíčním výzkumu trénování veslařů byl pozorován nárůst hodnot IgM a po dvacetidenním tréninku ragbistů došlo ke snížení hladiny IgM. [36]

Dalším neopomenutelným imunologickým parametrem je množství *leukocytů* v krvi. Dle studií dochází k navýšení hodnot bílých krvinek po skončení ultravytrvalostního závodu. Prvním z mechanismů vedoucích ke zvýšení jejich množství je zvýšená produkce katecholaminů, které jsou zodpovědné za indukci zralých leukocytů. Dalším mechanismem je uvolňování leukocytů z kostní dřeně do krevního oběhu vlivem stresového hormonu kortizolu. Oba tyto mechanismy jsou aktivnější vlivem extrémní zátěže organismu. Zvýšení množství leukocytů vlivem ultravytrvalostního závodu naznačuje, že lidský organismus reaguje na extrémní zátěž, jako v případě zánětu či infekce. Během ultravytrvalostních sportů dochází k poškození tkáně, kdy dochází k mikrolézi svalových vláken. Zvyšuje se tedy počet leukocytů na podporu obranyschopnosti organismu. Jednotlivé typy leukocytů reagují na zátěž různě. Největší nárůst nastává u neutrofilů, množství lymfocytů se naopak snižuje. Hodnoty leukocytů se mohou u jednotlivých sportovců lišit vlivem jejich nepřipravenosti na závod, či nemoci. Dále závisí na velikosti úsilí jedinců, charakteru závodu, jeho obtížnosti, trvání a zvyku sportovců na zátěž. [6]

U *běžců* došlo k významné změně hodnot *leukocytů*. Z původního množství $4,99 \pm 1,84 \times 10^9/l$ došlo k nárůstu na $13,20 \pm 5,36 \times 10^9/l$. Hodnoty se vlivem zátěže zvýšily až trojnásobně, konkrétně o 164,5 %. Jak již bylo řečeno, soubor hodnot naměřených u běžeckého závodu je tvořen jedinci získaných ze dvou ročníků. Množství bílých krvinek v krvi závodníků v roce 2012 bylo stanoveno jinou metodou, než v roce 2013. Proto jedinci z roku 2012 mají nižší množství leukocytů v krvi, než jedinci z roku 2013, a to o 64% před závodem a o 114,5 % po závodě.

U *cyklistických závodníků* se množství *leukocytů* změnilo z původního $5,75 \pm 1,29 \times 10^9/l$ na $11,80 \pm 3,08 \times 10^9/l$, došlo tedy k výraznému navýšení hodnot leukocytů o více než dvojnásobek (105,2 %).

U obou typů závodníků došlo dle očekávání ke statisticky významnému zvýšení hodnot bílých krvinek (C: $p < 0,05$, B: $p < 0,05$). V obou případech většina jedinců měla před starty závodů množství leukocytů v normě, po závodě došlo k navýšení tohoto množství až mimo referenční rozmezí $4-10 \times 10^9/l$.

Zvýšené hodnoty leukocytů koresponduje s teorií „open window“, obdobím imunologického útlumu, tedy zvýšenou náchylností k infekcím. Společné zvýšení množství leukocytů a snížení koncentrace IgA má dle studií souvislost s častým výskytem URTI u ultrasportovců. V našem případě, tuto teorii nelze stoprocentně potvrdit, jelikož koncentrace IgA se naopak mírně zvýšila. [6][31][33]

Z biochemických parametrů jsme se zabývali změnami enzymů CK, LDH a ALT naměřených před a po závodech. *Laktátdehydrogenázu* nalezneme ve všech typech buněk, nejvíce však v erytrocytech a svalových buňkách. Zvýšenou aktivitu LDH lze pozorovat při poškození svalové tkáně, popř. při rozpadu erytrocytů. Enzym *alaninaminotransferáza* se vyskytuje především v játrech, vlivem jejich poškození dochází k navýšení hodnot ALT v krvi. Vlivem ultravytrvalostních sportů by mělo docházet ke zvýšení hodnot obou těchto enzymů. *Kreatinkináza* je enzym, který hraje důležitou roli v energetickém metabolismu svalu. Nachází se především v kosterním a srdečním svalstvu. Proto zvýšené hodnoty CK jsou hlavním ukazatelem svalového poškození. Vyšší hodnoty souvisí s větší prací myokardu, z tohoto důvodu se provádí vyšetření CK také v případě podezření na infarkt myokardu. Bylo prokázáno, že sportovní zátěž způsobuje poškození kosterního svalstva, což vede ke zvýšení plazmatického enzymu CK [22]. Uvádí se souvislost mezi zvýšenými hodnotami CK společně s LDH a *rhabdomyolýzou*. Dle studií ke zvýšení aktivity CK přispívá také iontová nerovnováha jako je hyponatrémie, dále věk, pohlaví, a virové onemocnění [17]. [8][14] [17][22]

U *běžeckého závodu* došlo ke statisticky významným změnám u kreatinkinázy ($p < 0,05$) a LDH ($p = 0,001$). K nepřehlédnutelnému vzrůstu aktivity došlo u *kreatinkinázy*, kde z původní hodnoty $4,25 \pm 2,74 \mu\text{kat/l}$ stoupla aktivita enzymu vlivem závodu na $50,09 \pm 60,08 \mu\text{kat/l}$. Byl tedy zaznamenán nárůst o 1078,6 %. Hodnoty kreatinkinázy vystoupaly mnohonásobně výše než horní mez referenčního rozmezí ($0 - 3,17 \mu\text{kat/l}$). Jak si lze všimnout, již průměrná hodnota aktivity tohoto enzymu naměřená před závodem je mírně vyšší než horní mez referenčního rozmezí, což znamená, že někteří jedinci měli zvýšenou

hladinu tohoto enzymu již před startem závodu. Zjistili jsme, že koncentrace *laktátdehydrogenázy* v krvi sportovců se z hodnot před závodem $1,35 \pm 0,59$ $\mu\text{kat/l}$ zvýšila na $2,02 \pm 0,82$ $\mu\text{kat/l}$ po běžeckém závodě, jedná se tedy o navýšení o 49,6 %. Hodnoty před i po závodě spadají do referenčního rozmezí do 4,1 $\mu\text{kat/l}$. Hladina *alaninaminotransferázy* nebyla nijak statisticky významně změněna ($p = 0,988$). Hladina naměřená před závodem činila $0,18 \pm 0,08$ $\mu\text{kat/l}$, po závodě $0,18 \pm 0,10$ $\mu\text{kat/l}$. Téměř všechny hodnoty ALT spadají do referenčního rozmezí 0,1-0,8 $\mu\text{kat/l}$.

. Hladina enzymů ALT a LDH naměřených před a po *cyklistickém závodě* se nijak výrazně neliší (ALT: $p = 0,621$, LDH: 0,979). Hladina *alaninaminotransferázy* se takřka nemění. Průměrná hodnota před závodem činí $0,07 \pm 0,04$ $\mu\text{kat/l}$, po závodě $0,07 \pm 0,03$ $\mu\text{kat/l}$. Většina jedinců vykazuje hladinu ALT mimo referenční rozmezí a to jak před startem, tak po závodě. LDH se z původní hodnoty $1,32 \pm 0,29$ $\mu\text{kat/l}$ snížila na $1,29 \pm 0,24$ $\mu\text{kat/l}$ (pokles o 2,3 %). Aktivita LDH všech jedinců spadá do referenčního rozmezí.

U běžeckého závodu jsou změny hodnot LDH a CK v souladu s dostupnými studiemi. Došlo k navýšení aktivity obou parametrů, čímž lze usuzovat na výrazné poškození svalstva během tohoto závodu. Aktivita CK se zvýšila až nad referenční rozmezí, kdežto hodnoty LDH zůstaly v normě. Hodnoty ALT se téměř nezměnily, nebyla tedy potvrzena teorie o nárůstu aktivity ALT vlivem zátěže, a s tím spojené poškození jater, a to ani u jednoho typu závodu. Aktivita LDH naměřená před a po cyklistickém závodě nebyla statisticky významná a hodnoty se naopak mírně snížily, což nekoresponduje s tvrzením z dostupných zdrojů o zvyšování aktivity LDH. Hodnota CK v tomto případě nebyla stanovena. Nemohli jsme tedy určit, zda extrémní zátěž vlivem tohoto závodu může souviset s rhabdomyolýzou.

Obecně vlivem ultravytrvalostních sportů dochází postupně k vyčerpání iontů. Tento fakt úzce souvisí se zatížením ledvin vlivem nadměrné fyzické zátěže. Ledviny jsou totiž klíčovým orgánem homeostázy sodíku. Během vytrvalostního výkonu může docházet k *hyponatrémii*, tzn. snížení hodnot *sodných kationtů* pod 135 mmol/l. Hyponatremie je spojena s nadměrnou konzumací hypotonických tekutin nebo nadměrným pocením při sportovním výkonu, což vede ke snížení koncentraci krevního sodíku [22]. Obecně k hyponatrémii mají větší tendenci méně trénovaní jedinci, kteří podávají intenzivní vytrvalostní výkon. Adaptovaní se více potí, ale ztrácejí s potem méně iontů. Dalšími důležitými parametry pro posouzení poškození ledvin jsou v našem případě hodnoty *kreatininu* a *draselných iontů*. Kreatinin je produktem metabolismu svalového kreatininu, který je vylučován ledvinami, především glomerulární filtrací [36]. Koncentrace kreatininu v krvi se zvyšuje v důsledku

poklesu funkce ledvin, proto je stanovení koncentrace kreatininu v séru užitečné pro posouzení jejich funkce. Po fyzické zátěži dochází ke zvýšení hodnot K^+ v krvi, v důsledku rozpadu buněk vlivem extrémní zátěže, což může poukazovat na poškození svalů.[8]

Koncentrace *iontů a kreatininu* byla měřena pouze u *cyklistického závodu*, u běžeckého závodu nám tyto informace chybí. Ionty sodíku a draslíku se statisticky významně mění (Na: $p = 0,036$, K: $p \ll 0,05$). U obou parametrů dochází k poklesu jejich hodnot. V případě *sodných iontů* dochází k poklesu jejich koncentrace ze $138,22 \pm 1,17$ mmol/l na $137,00 \pm 1,75$ mmol/l. Hodnoty *draselných iontů* poklesly z původních $5,61 \pm 0,59$ mmol/l na $4,57 \pm 0,39$ mmol/l. Koncentrace sodných iontů se v drtivé většině nacházela v referenčním rozmezí 132-145 mmol/l. Naopak u draselných iontů je zajímavé, že hodnoty naměřené před závodem jsou nad horní hranicí referenčního rozmezí 3,8-5,1 mmol/l, kdežto koncentrace iontů po závodě klesá do fyziologických hodnot. To může být způsobeno v důsledku stresu, který je způsoben nevhodným odběrem krve, což mohlo vést ke zkreslení výsledků. U *kreatininu* došlo ke statisticky významnému navýšení koncentrace ($p \ll 0,05$) z hodnot před startem $80,06 \pm 10,75$ μ mol/l na $102,17 \pm 17,78$ μ mol/l (o 27,6 %). [6]

Koncentrace sodných iontů se dle očekávání snížila. Hodnoty pod 135 mmol/l a s tím související hyponatrémie se po závodě vyskytly pouze u dvou závodníků. Hodnoty ostatních závodníků spadaly před i po závodě do referenčního rozmezí. *Koncentrace kreatininu* se dle očekávání významně zvýšila, avšak u téměř všech jedinců byly tyto hodnoty v normě. Výskyt hyponatrémie společně se zvýšenými hodnotami kreatininu může poukazovat na již zmíněné poškození ledvin, avšak v našem případě to ve většině případů potvrdit nelze.

Na základě výsledků této práce se lze domnívat, že běžecký závod na 100 km je pro sportovce více zatěžující, než cyklistický závod MTB na 24 hod. U většiny parametrů dochází k výraznější změně v případě běžeckého závodu. Rozdíly však mohou být způsobeny také tréninkovými zkušenostmi, věkem či pohlavím.

V této práci jsme byli značně limitováni. V souboru dat chyběli hodnoty některých parametrů, takže nebylo možné ve všech případech posoudit souvislost se zmíněnými patologickými stavy organismu. Další limitací by mohl být relativně nízký počet vzorků. V případě vyššího množství, by byla studie průkaznější. Bohužel nebyly k dispozici konkrétní informace o sportovcích, jako je věk, váha, tréninkový plán či životospráva jedinců, což by napomohlo přesnějším výsledkům.

6 Závěr

Cílem práce bylo zjistit, jaké účinky má nadměrná fyzická zátěž na organismus sportovců, posouzení změn imunologických a biochemických parametrů po ukončení ultravytrvalostních závodů a následné porovnání s možnými patologickými stavy. Parametry, kterými se tato práce zabývá, jsou leukocyty, IgA, IgM, ionty Na^+ a K^+ , kreatinin a enzymy CK, ALT a LDH. Hodnoty jednotlivých parametrů byly získány po 24 hodinovém cyklistickém závodě v Jihlavě v roce 2013, kde bylo zkoumáno celkem 23 vzorků. Chybí zde hodnoty CK. Dále byly získány hodnoty parametrů ze 100 km běhu v Plzni v letech 2012 a 2013. Tyto dva závody tvoří dohromady jeden soubor o 24 testovaných vzorcích. Chybí zde ovšem hodnoty Na^+ , K^+ , kreatininu a z části CK.

Dle odborných studií bylo předpokládáno, že hodnoty leukocytů se budou po závodě zvyšovat a hodnoty imunoglobulinu A se budou naopak snižovat. Tyto poznatky mají souvislost s výskytem URTI u ultrasportovců. Tato teorie byla výsledky naší práce z části potvrzena. U obou typů závodů došlo k výraznému zvýšení množství leukocytů, avšak hodnoty imunoglobulinu A se ani v jednom případě statisticky významně nezměnily. Naopak se u obou typů závodů mírně zvýšily. Avšak množství IgA u sportovců je velmi individuální a rozporuplné. Zvýšené hodnoty IgA mohou poukazovat na vývoj zánětlivé reakce.

Po ultravytrvalostním výkonu by mělo dojít k navýšení aktivity CK, LDH, ALT. Hodnoty CK se dle očekávání mnohonásobně zvýšily a to až o 1078,6 %. U běžců bylo prokázáno navýšení hodnot LDH. Naopak u cyklistů se toto tvrzení potvrdit nepovedlo. Aktivita ALT nevykazovala zvýšené hodnoty po žádném ze závodů. U cyklistického závodu došlo ke statisticky významnému poklesu K^+ . Draselné ionty nebyly měřeny u běžeckých závodníků. Dle dostupných výsledků lze poukázat na podezření rhabdomyolýzy u běžeckého závodu.

Dalším častým patologickým stavem u ultrasportovců je poškození jater, na což poukazují zvýšené hodnoty aktivity enzymů ALT a LDH. Tato teorie nebyla v našem případě potvrzena.

Nadměrná sportovní zátěž by měla způsobit nárůst hodnot kreatininu v krvi a pokles iontů Na^+ . Na základě našich výsledků můžeme tuto teorii potvrdit. Avšak, hodnoty těchto parametrů jsou téměř ve všech případech v normě. Nelze tedy poukázat na možnost poškození ledvin vlivem vytrvalostních sportů.

Studie by byla o to zajímavější, kdyby byly dostupné podrobnější informace o závodnících (věk, pohlaví, váha, tréninkový plán či životospráva). Přesnějších výsledků by bylo možné dosáhnout při větším množství vzorků. Zajímavé by také bylo odebrání krve, ne jen ihned po závodě, ale i s odstupem času pro pozorování změn parametrů v delším časovém úseku po závodě.

Seznam použité literatury

- [1] TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. 3. dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada, 1999. ISBN 80-7169-788-5.
- [2] KITTNAR, Otomar, MLČEK, Mikuláš. *Atlas fyziologických regulací*. Praha: Grada, 2009. ISBN 9788024727226.
- [3] DONNER, Ludvík. *Klinická hematologie*. Praha: Avicenum, 1985. ISBN 08-077-85.
- [4] KOČÁREK, Eduard. *Biologie člověka*. Praha: Scientia, 2010. Biologie pro gymnázia. ISBN 9788086960470.
- [5] CHLÍBKOVÁ, Daniela, Alena ŽÁKOVSKÁ a Ivana TOMÁŠKOVÁ. *Ultravytrvalostní závody z pohledu zdraví a amatérského sportu*. *Studia Kinanthropologica*, 2015, roč. 2013, č. 14, s. 187-195. ISSN 1213-2101.
- [6] RODOVÁ, Markéta et al. *Comparison of selected immunological and biochemical parameters in ultra runners and ultra cyclists participating in 24 hour races and multi-stage races*. *Physical activity in science and practice*. 2013, s. 159-167. Dostupné z: <http://eds.b.ebscohost.com.ezproxy.muni.cz/eds/ebookviewer/ebook/bmxlYmtfXzg4MDk4Nl9fQU41?sid=29bafd65-f951-4b52-830f-5944a71ad3c4@sessionmgr105&vid=2&format=EB&rid=4>.
- [7] WU, H-J et al. *Effects of 24 h ultra-marathon on biochemical and hematological parameters*. *World J Gastroenterol*. 2004, č. 10, s. 2711-2714. ISSN 1007-9327. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4572198/pdf/WJG-10-2711.pdf>.
- [8] LEDVINA, Miroslav, Alena STOKLASOVÁ a Jaroslav CERMÁN. *Biochemie pro studující medicíny*. Praha: Karolinum, 2004. ISBN 80-246-0851-0.
- [9] HOŘEJŠÍ, Václav a Jiřina BARTŮŇKOVÁ. *Základy imunologie*. 3. vyd. Praha: Triton, 2005. ISBN 80-7254-686-4.
- [10] VÁCHA, Martin. *Srovnávací fyziologie živočichů*. 2. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2004. ISBN 80-210-3379-7.
- [11] MASOPUST, Jaroslav. *Požadování a hodnocení biochemických vyšetření. II. část*. Praha: Avicenum, 1990. Zdravotnické aktuality Ministerstva zdravotnictví ČR. ISBN 80-85047-05-5.

- [12] ŽÁKOVSKÁ, Alena et al. Selected immunological and biochemical parameters in ultra runners participating 100 km race. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca* [online]. 2014, 23(1), 33-34 [cit. 2016-11-21]. ISSN 12105481.
- [13] VANČURA, V., RADVANSKÝ, J. *Fyziologie tělesné zátěže*. Kardiol Rev, 2007, 5-9. Dostupné z: http://www.prolekare.cz/pdf?ida=kr_07_03_02.pdf.
- [14] RACEK, Jaroslav. *Klinická biochemie*. 2., přeprac. vyd. Praha: Galén, 2006. ISBN 80-7262-324-9.
- [15] KŁAPCIŃSKA B;WAŚKIEWICZ Z;CHRAPUSTA SJ;SADOWSKA-KRĘPA E;CZUBA M;LANGFORT J. *Metabolic responses to a 48-h ultra-marathon run in middle-aged male amateur runners*. *European Journal Of Applied Physiology* [online]. 2013, 113(11), 2781-93 [cit. 2016-11-21]. DOI: 10.1007/s00421-013-2714-8. ISSN 14396327. Dostupné z: <http://eds.a.ebscohost.com.ezproxy.muni.cz/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=9246420d-7174-44bf-8dd3-b8f0d070a8d1%40sessionmgr4009&vid=6&hid=4108>.
- [16] SCHNEIDERKA, Petr. *Vybrané kapitoly z klinické biochemie*. Praha: Karolinum, 1998. ISBN 80-7184-505-1.
- [17] VOHÁŇKA, Stanislav. *Zvýšená hladina kreatinkinázy*. *Interní Medicína*, 2014, 14(8 a 9), 322–326. Dostupné z: <http://www.internimedicina.cz/pdfs/int/2012/09/07.pdf>.
- [18] KOTAČKOVÁ, L. Top Lékař: Laboratorní hodnoty. *Alaninaminotransferáza* [online]. [cit. 2014-04-14]. 2011. Dostupné z: <http://www.toplekar.cz/laboratorni-hodnoty/alaninaminotransferaza.html>.
- [19] ŠPALEK, Peter. *Rhabdomyolýza*. *Neurologie pro praxi*, 2012, 13(4), 198-203. Dostupné z: <http://www.neurologiepropraxi.cz/pdfs/neu/2012/04/06.pdf>.
- [20] SOUČEK, Martin et al. Akutní selhání ledvin u kriticky nemocných pacientů s rhabdomyolýzou. *Interní medicína pro praxi*, 2005, 489-491. Dostupné z: <http://www.internimedicina.cz/pdfs/int/2005/11/05.pdf>.
- [21] BRANCACCIO, P., LIPPI, G., MAFFULLI, N. "Biochemical markers of muscular damage". *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine* 48 (6), 757–67, 2010. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20518645>.
- [22] CLEARY, Michelle A. Creatine Kinase, Exertional Rhabdomyolysis, and Exercise-Associated Hyponatremia in Ultra-Endurance Athletes: A Critically Appraised Paper. *International Journal of Athletic Therapy*[online]. 2016, 21(6), 13-15 [cit. 2016-11-21]. DOI: 10.1123/ijatt.2015-0071. ISSN 21577277. Dostupné z:

- <http://eds.a.ebscohost.com.ezproxy.muni.cz/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=9246420d-7174-44bf-8dd3-b8f0d070a8d1%40sessionmgr4009&vid=10&hid=4108>.
- [23] CHÁBOVÁ, Věra. Hyponatremie. Interní medicína pro praxi, 2015, 17(3), 137-140. Dostupné z: <http://www.internimedicina.cz/pdfs/int/2015/03/09.pdf>.
- [24] JISKRA, Jan. *Hyponatremie: diagnostický postup a nové léčebné možnosti*. Interní medicína pro praxi, 2012, 14(8 a 9), 312-317. Dostupné z: <http://www.internimedicina.cz/pdfs/int/2012/09/05.pdf>.
- [25] LIPMAN, Grant S.;Krabak. Incidence and Prevalence of Acute Kidney Injury During Multistage Ultramarathons. *Clinical Journal of Sport Medicine* [online]. 2016, 26(4), 314-319 [cit. 2016-11-21]. ISSN 1050642X.
- [26] NOVOTNÝ, Jan. *Rizika rhabdomyolýzy a hyponatrémie při vytrvalostním cvičení*. Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca, Brno: Česká společnost tělovýchovného lékařství, 2014, roč. 23, č. 3, s. 171-174. ISSN 1210-5481. Dostupné z: <http://eds.a.ebscohost.com.ezproxy.muni.cz/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&sid=701c53c3-cc22-49b8-a481-13836d6e56cc%40sessionmgr4009&hid=4108>.
- [27] NOAKES, TD et al. *Three independent biological mechanisms cause exercise-associated hyponatremia:evidence from 2, 135 weighed competitive athletic performances*. Proc Natl Acad Sci USA 102(51), 18550-18555, 2005. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1311740/pdf/pnas-0509096102.pdf>.
- [28] NOAKES, TD et al. *Water intoxication: A possible complication during endurance exercise*. Med. Sci. Sports Exerc 7, 370–5, 1985. Dostupné z: <http://eds.b.ebscohost.com.ezproxy.muni.cz/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=65b646eb-a4d8-4937-85d2-7ca57ee62280%40sessionmgr106&hid=111>.
- [29] CHLÍBKOVÁ, Daniela;Rosemann. Pre-race characteristics and race performance in hyponatremic and normonatremic finishers of Czech ultra-races. *Acta Gymnica* [online]. 2016, 46(3), 109-116 [cit. 2016-11-21]. DOI: 10.5507/ag.2016.013. ISSN 23364912. Dostupné z: <http://www.gymnica.upol.cz/pdfs/gym/2016/03/01.pdf>.
- [30] JABLONICKÝ, P., BRUTHANSOVÁ, P. *Akutní infekce v oblasti horních cest dýchacích z pohledu diagnostiky a léčby*. Medicína po praxi. Roč. 12, č. 5, s. 12-18. ISSN: 1212-9445, 2011. Dostupné z: <http://www.medicinapropraxi.cz/pdfs/med/2014/01/03.pdf>.
- [31] REID, VL, GLEESON, M, WILLIAMS, N and CLANCY, RL. *Clinical investigation of athletes with persistent fatigue and/or recurrent infections*. Br J Sports Med 38, 42-45, 2004. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1724742/pdf/v038p00042.pdf>.

- [32] NIEMAN, DC. *Immune response to heavy exertion*. Journal of applied physiology, 82(5), 1385-1394, 1997. Dostupné z: <http://jap.physiology.org/content/jap/82/5/1385.full.pdf>.
- [33] NIEMAN, DC. *Exercise, upper respiratory tract infection, and the immune system*. Med. Sci. Sports Exerc, 1994; 26, 128–139. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8164529>.
- [34] KOVÁŘ, Rudolf a Petr BLAHUŠ. *Aplikace vybraných statistických metod v antropomotorice*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1989. ISBN 17-109-89.
- [35] PAVLÍK, T., DUŠEK, L. *Biostatistika*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2012. ISBN 978-80-7204-782-6
- [36] RODOVÁ, Markéta. *Monitoring vybraných fyziologických parametrů sportovců během zátěže*. Brno, 2014. Diplomová práce. Masarykova univerzita v Brně. Přírodovědecká fakulta. Ústav experimentální biologie. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/324476/prif_m/MarketaRodovaDP_FINAL.pdf
- [37] ŠULLOVÁ, Alexandra. *Studium změn fyziologických parametrů krve u vybraných skupin vytrvalostních sportovců*. Brno, 2014. Diplomová práce. Masarykova univerzita v Brně. Přírodovědecká fakulta. Ústav experimentální biologie. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/356647/prif_m/DP-pre_IS_znznwkdi.pdf.
- [38] Propozice – Jihlavska24mtb.cz [online]. [cit. 15. 05. 2017]. Dostupné z: <http://www.jihlavska24mtb.cz/s/propozice>
- [39] Sportovní klub Marathon Plzeň [online]. [cit. 15. 05. 2017]. Dostupné z: <https://www.marathonplzen.cz/prilohy/grandPrix/100km.pdf>
- [40] Wikiskripta [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://www.wikiskripta.eu/index.php/Soubor:Protilatka_cz.png
- [41] Wikiskripta [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Soubor:Mono-und-Polymere.svg#file>
- [42] Cognopedia [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://www.cognopedia.com/wiki/File:Membrane_potential_ions_en.svg
- [43] Cuni [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: https://dl1.cuni.cz/pluginfile.php/258447/mod_page/content/22/kreatin%20degradace.jpg
- [44] Wikipedia [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Norm%C3%A1ln%C3%AD_rozd%C4%9Blen%C3%AD#/media/File:Standard_deviation_diagram.svg

Seznam použitých zkratek

IgA	imunoglobulin A
IgM	imunoglobulin M
IgG, D, E	imunoglobuliny G, D, E
Leu	leukocyty
CK	kreatinkináza
KREA	kreatinin
LDH	laktátdehydrogenáza
ALT	alaninaminotransferáza
URTI	Upper respiratory tract infections
EAH	exercise-associated hyponatremie
Na ⁺	sodný kation
K ⁺	draselný kation
Cl ⁻	chlorný anion
Ca ²⁺	vápenatý kation
Mg ²⁺	hořečnatý kation
ATP	adenosintrifosfát
ADP	adenosindifosfát
AST	aspartátaminotransferáza

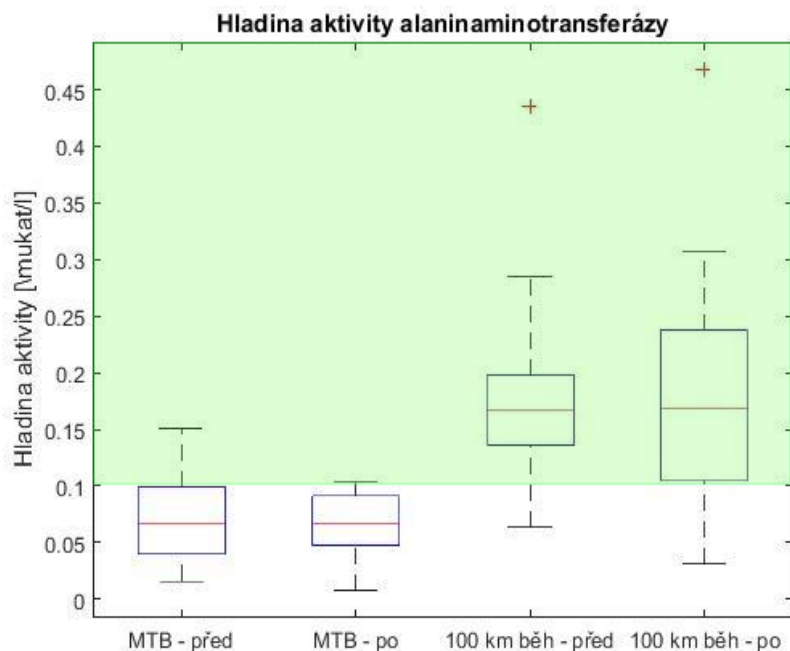
Seznam příloh

A	Krabicové grafy zbývajících parametrů z kapitoly 4.3	63
A1	Grafické znázornění změny aktivity enzymu ALT před a po závodech	63
A2	Grafické znázornění změny množství imunoglobulinu M před a po závodech	63
A3	Grafické znázornění změny množství kreatininu před a po cyklistickém závodě	64
A4	Grafické znázornění změny aktivity enzymu LDH před a po závodech.....	64
A5	Grafické znázornění změny množství sodných iontů před a po cyklistickém závodě .	65
B	Seznam souborů na CD	65

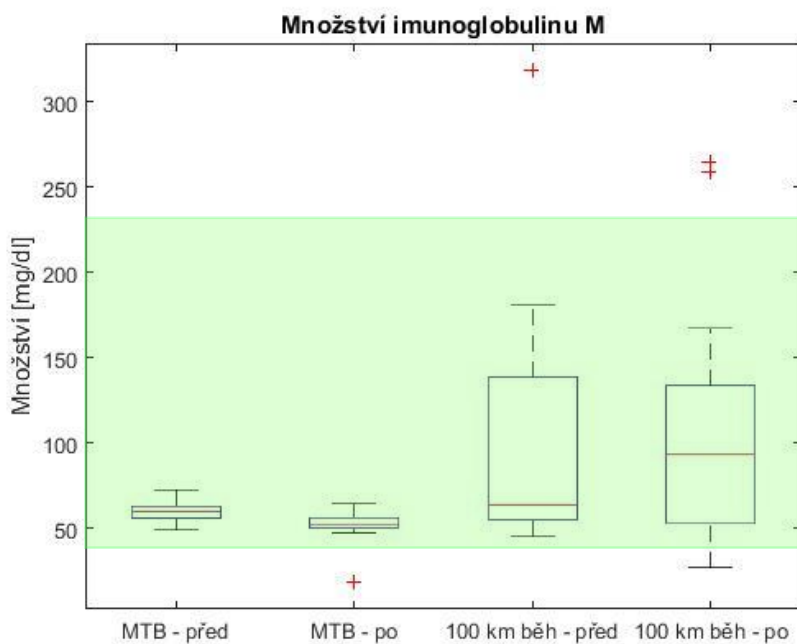
A Krabicové grafy zbývajících parametrů z kapitoly 4.3

Zelená oblast ve všech následujících grafech znázorňuje referenční rozmezí jednotlivých parametrů (viz Tab. 4.2)

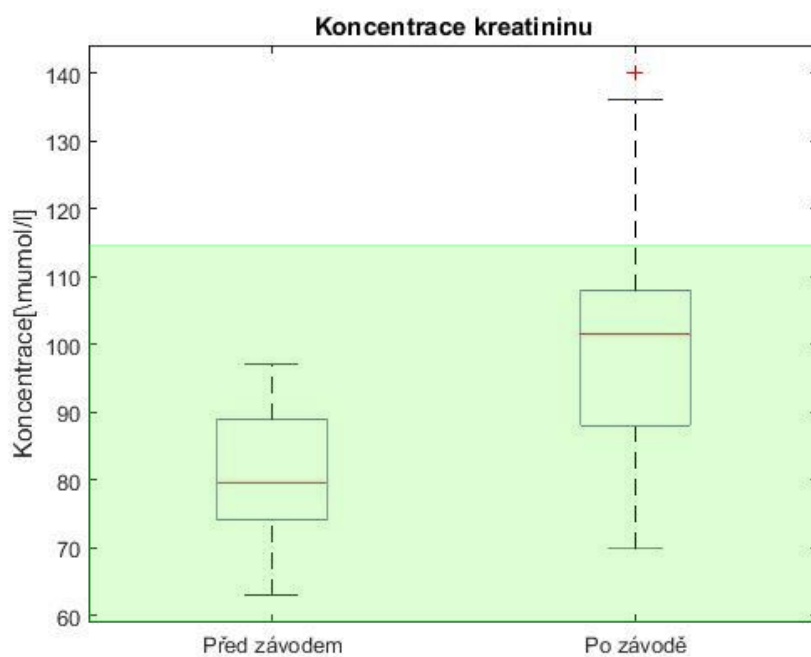
A1 Grafické znázornění změny aktivity enzymu ALT před a po závodech



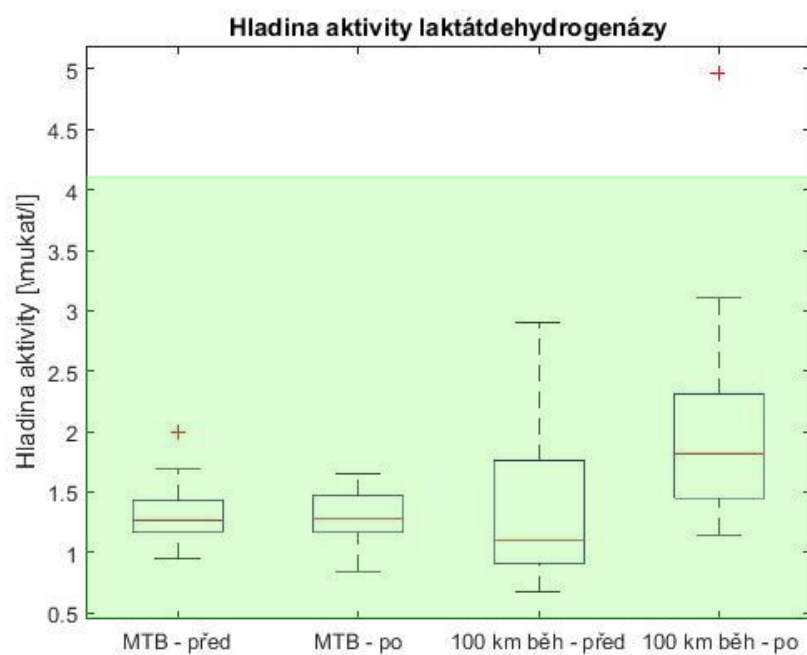
A2 Grafické znázornění změny množství imunoglobulinu M před a po závodech



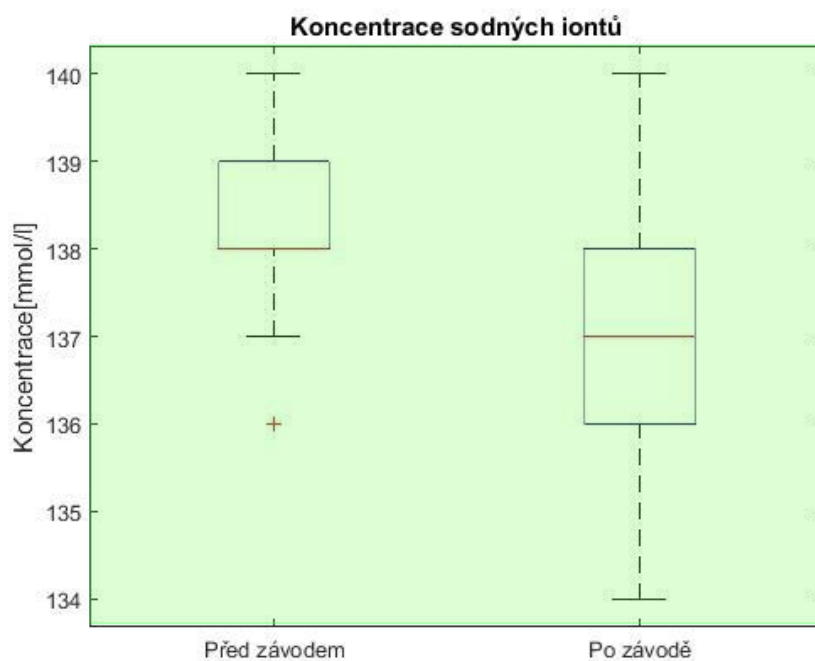
A3 Grafické znázornění změny množství kreatininu před a po cyklistickém závodě



A4 Grafické znázornění změny aktivity enzymu LDH před a po závodech



A5 Grafické znázornění změny množství sodných iontů před a po cyklistickém závodě



B Seznam souborů na CD

Přiložené CD obsahuje:

- Elektronická verze práce – ve formátu PDF pod názvem Monika_Ambrozova_BP.
- Realizovaný program – programu v Matlabu verze 2015 pro statistickou analýzu dat.
- Data – data ve formátu .mat a .xls
- Informace ke spuštění programu