

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury

VLIV VĚKU NA DYNAMIKU VYBRANÝCH
FYZIOLOGICKÝCH PARAMETRŮ U DOROSTENECKÝCH
KATEGORIÍ U16-U18 PRVOLIGOVÉHO FOTBALOVÉHO
TÝMU

Diplomová práce
(Magisterská)

Autor: David Prekop, učitelství tělesné výchovy pro 2. stupeň ZŠ a SŠ se
specializacemi

Vedoucí práce: doc. PhDr. Michal Botek, Ph.D.

Olomouc 2021

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: David Prekop

Název magisterské práce: Vliv věku na dynamiku vybraných fyziologických parametrů u dorosteneckých kategorií U16-U18 prvoligového fotbalového týmu

Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii

Vedoucí bakalářské práce: doc. PhDr. Michal Botek, Ph.D.

Rok obhajoby bakalářské práce: 2021

Abstrakt:

Hlavním cílem práce je zjistit vliv věku na vybrané kondiční složky výkonu u profesionálních dorosteneckých fotbalistů. Mezi sledované somatické parametry patří výška, hmotnost, body mass index (BMI), procento tělesného tuku a tukuprostá hmota (FFM). Mezi fyziologické a kondiční parametry patří maximální spotřeba kyslíku (VO_{2max}), maximální výkon (P_{max}), vertikální skok, srdeční frekvence v lehu (SFleh), srdeční frekvence ve stoje (SFstoj) a index vagové aktivity. Výzkumný soubor tvoří 43 dorosteneckých fotbalových hráčů prvoligového týmu České republiky ve věku 16-18 let.

Výsledky ukázaly signifikantně vyšší hodnoty u BMI a tukuprosté hmoty u kategorií U17 a U18 než u kategorie U16, a signifikantně vyšší hodnoty procenta tělesného tuku u kategorie U16 než u kategorie U17. Hodnota BMI u kategorie U16 činí $21,0 \pm 1,6 \text{ kg.m}^{-2}$, u kategorie U17 $23,0 \pm 1,5 \text{ kg.m}^{-2}$ a u kategorie U18 $23,2 \pm 1,9 \text{ kg.m}^{-2}$. Průměrné množství tukuprosté hmoty u kategorie U16 je $58,6 \pm 7,3 \text{ kg}$, u kategorie U17 $64,4 \pm 5,9 \text{ kg}$ a u kategorie U18 $65,3 \pm 3,8 \text{ kg}$. Množství tělesného tuku je u kategorie U16 $12,7 \pm 1,4 \%$, u kategorie U17 $10,2 \pm 2,4 \%$ a u kategorie U18 $10,5 \pm 3,2 \%$. U kategorie U18 bylo prokázáno také signifikantně vyšší množství tělesné hmotnosti v porovnání s kategorií U16. Průměrná hmotnost probandů je $67,2 \pm 8,8 \text{ kg}$ v kategorii U16, $71,9 \pm 7,6 \text{ kg}$ v kategorii U17 a $73,1 \pm 5,3 \text{ kg}$ v kategorii U18. Mezi kategoriemi nebyl nalezen rozdíl ve výšce postavy. U fyziologických a kondičních parametrů nebyly zjištěny žádné rozdíly.

Z práce vyplývá, že věk u námi sledovaných dorostenců měl velký vliv pouze na somatické parametry.

Klíčová slova: maximální spotřeba kyslíku, srdeční frekvence, sportovní trénink, autonomní nervový systém

Souhlasím s půjčováním magisterské práce v rámci knihovních služeb.

Bibliographical identification

Author's first name and surname: David Prekop

Title of the master thesis: Influence of age on the dynamics of selected physiological parameters in the youth categories U16-U18 of the first league football team

Department: Department of Natural Sciences in Kinanthropology

Supervisor: doc. PhDr. Michal Botek, Ph.D.

The year of presentation: 2021

Abstract:

The main aim of this thesis was to determine the influence of age on selected fitness components of performance in professional youth soccer players. The monitored somatic parameters include height, weight, body mass index (BMI), body fat percentage and fat free mass (FFM). Physiological and fitness parameters include maximal oxygen uptake (VO_2max), maximum power (Pmax), vertical jump, heart rate supine, heart rate standing and vagal activity index. The research group consists of 43 youth football players of the first league team of the Czech republic aged 16–18.

The results showed significant higher values of BMI and fat free mass in the U17 and the U18 categories compared to the U16 category, and significantly higher values of the body fat percentage in the U16 category compared to the U17 category. The BMI value for category U16 is $21,0 \pm 1,6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, for category U17 $23,0 \pm 1,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ and for category U18 $23,2 \pm 1,9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. The average amount of fat free mass for category U16 is $58,6 \pm 7,3 \text{ kg}$, for category U17 $64,4 \pm 5,9 \text{ kg}$ and for category U18 $65,3 \pm 3,8 \text{ kg}$. Body fat percentage value is $12,7 \pm 1,4 \%$ for category U16, $10,2 \pm 2,4 \%$ for category U17 and $10,5 \pm 3,2 \%$ for category U18. It was also shown that the U18 category have a significantly higher body weight compared to the U16 category. The average weight of probands is $67,2 \pm 8,8 \text{ kg}$ in category U16, $71,9 \pm 7,6 \text{ kg}$ in category U17 and $73,1 \pm 5,3 \text{ kg}$ in category U18. There was found no difference in body height between the categories. No difference was found in the physiological and fitness parameters.

This thesis shows that age in adolescents we monitored had a great effect only on somatic parameters.

Keywords: maximal oxygen uptake, heart rate, sport training, autonomic nervous system

I agree the thesis paper to be lent within the library service.

Prohlašuji, že jsem magisterskou práci zpracoval samostatně s odbornou pomocí doc. PhDr. Michala Botka, Ph.D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a řídil se zásadami vědecké etiky.

V Olomouci dne 28. dubna 2021

.....

Děkuji doc. PhDr. Michalu Botkovi, Ph.D. za cenné rady a odbornou pomoc, které mi poskytl během zpracování magisterské práce.

Obsah

1 Úvod	8
2 Přehled poznatků	10
2.1 Sportovní trénink a výkon.....	10
2.1.1 Zatížení	12
2.1.2 Adaptace.....	14
2.1.3 Únava a zotavení	15
2.1.4 Superkompenzace	17
2.2 Energetické krytí svalové činnosti.....	19
2.3 Pohybové schopnosti	22
2.3.1 Síla	22
2.3.2 Rychlost	24
2.3.3 Vytrvalost.....	26
2.4 Srdeční frekvence	29
2.5 Autonomní nervový systém	31
2.6 Variabilita srdeční frekvence	33
2.6.1 Faktory ovlivňující VSF	33
2.6.2 Časové ukazatele VSF	34
2.7 Charakteristika fotbalu.....	36
2.7.1 Somatické parametry u fotbalistů.....	37
2.7.2 Fyziologické parametry u fotbalistů	40
2.8 Věkové zvláštnosti mládeže.....	43
3 Cíle.....	45
3.1 Hlavní cíl.....	45
3.2 Dílčí cíle.....	45
3.3 Výzkumné otázky	45
4 Metodika	46

4.1 Charakteristika souboru	46
4.2 Metodika sběru dat	46
4.2.1 Měření antropometrických parametrů	46
4.2.2 Měření funkčních a fyziologických parametrů	47
4.3 Statistické zpracování dat	48
5 Výsledky	49
5.1 Základní antropometrické parametry.....	49
5.2 Fyziologické parametry	49
6 Diskuse.....	51
7 Závěry	55
8 Souhrn.....	56
9 Summary	58
10 Referenční seznam.....	60

1 Úvod

Fotbal je rozšířen po celém světě a je součástí olympijských her od roku 1900 (Slimani & Nikolaidis, 2019). Je to vysoce intenzivní týmový sport intermitentní povahy, ve kterém jsou síla a vytrvalost považovány za důležité faktory herního výkonu (Botek, Krejčí, McKune, & Klimešová, 2016) stejně jako rychlostní vytrvalost, rychlost a výbušnost (Semjon, Botek, Svozil, & McKune, 2016). Kromě fyzické zdatnosti jsou důležité také psychické faktory, technika hráče či taktika (Arnason et al., 2004). Fotbal je charakterizován opakovanými přerušovanými výbušnými činnostmi, během nichž dochází k rázným a výbušným akcím, jako je sprint, skákání, narážení, kopání, otáčení a změna tempa. Tyto činnosti s vysokou intenzitou mají zásadní vliv na výkon v utkání a je třeba je rozvíjet od mladého věku. Za tímto účelem mnoho národních federací a profesionálních klubů investuje značné prostředky do identifikace mladých talentovaných hráčů (Meylan, Cronin, Oliver, & Hughes, 2010). Předpokládá se, že vývoj sportovce zahrnuje nelineární postup a složité interakce v čase mezi technickými (např. motorická koordinace a ovládnání dovedností), fyzickými (tj. aerobní a anaerobní kapacita), sociálními faktory (vztahy v rodině, trenérská odbornost) a faktory prostředí (např. kvalita a struktura tréninku). Tyto interakce jsou považovány za přispívající k výběru, postupu a zrušení výběru ve sportovních systémech (Towlson, Copley, Parkin, & Lovell, 2018). Je dobře známo, že pochopení specifických požadavků hraní elitního fotbalu může poskytnout zasvěcené informace o tom, co je skutečně nutné pro soutěžní úspěch v tomto sportu. Zejména antropometrická měření složení těla a fyziologické a fyzické schopnosti včetně kardiopulmonální vytrvalosti, svalové síly, svalové vytrvalosti a flexibility se obecně hodnotí testováním fotbalistů. Tato měření se mohou navzájem doplňovat a jejich kombinace může poskytnout fotbalovým a kondičním trenérům lepší znalost těch charakteristik, které jsou nutné pro úspěšnou účast na elitní úrovni (Slimani & Nikolaidis, 2019).

Stát se profesionálním hráčem je hlavním cílem nadaných mladých fotbalistů a být na elitní úrovni mládeže lze považovat za slibné, avšak nezaručuje úspěch (Meylan et al., 2010). V elitním fotbalu trenéři neustále hledají nejefektivnější vzorec pro identifikaci a rozvoj talentovaných mladých hráčů. V tomto ohledu je role mládežnických akademií zásadní pro dlouhodobý rozvoj fotbalistů (le Gall, Carling, Williams, & Reilly, 2010). Takové akademie identifikují potencionální mladé fotbalové hráče a začleňují je do mládežnických týmů jejich klubů s cílem vytvořit z nich špičkové fotbalové hráče (Vega, Gonzalez-Artetxe, Aguinaco, & Arcos, 2020). V rámci sportovních organizací se identifikace a rozvoj výjimečných

sportovních výkonů mládeže postupně profesionalizuje. Nicméně je zdůrazňována složitost a omezená přesnost, pokud jde o schopnost systematicky identifikovat výjimečné mladé sportovce, kteří se spojují s úspěchem seniorských sportovců. Pro ilustraci, méně než 1 % chlapců přijatých do center pro rozvoj hráčů v anglickém mládežnickém fotbalu pokračuje v profesionální kariéře. Rovněž se ukázalo, že relativně nízké procento (přibližně 30 %) mladých sportovců zůstává v systému vývoje déle než 3 roky (Towlson et al., 2018).

Riziko zranění, historie tréninku a zkušenosti s utkáním, psychické, technické, motorické a percepčně-kognitivní dovednosti byly zkoumány jako prediktory úspěšného výkonu ve fotbalu mládeže. Dále se ukázalo, že antropometrické a fyziologické charakteristiky, stav zralosti a vliv období během výběrového roku, ve kterém se hráč narodí, jsou prediktory úspěchu mladých fotbalistů (le Gall et al., 2010). Důležitým problémem tedy je, že excelence ve sportu nezávisí na jedné standardní sadě dovedností, ale lze ji dosáhnout jedinečným způsobem prostřednictvím různých kombinací schopností. Tento efekt byl označen jako „kompenzační fenomén“ a naznačuje, že nedostatky v jedné oblasti výkonu mohou být kompenzovány silou v jiných oblastech. Navíc, fyzicky dominantní hráči na juniorské úrovni si nemusí tuto výhodu udržet až do dospělosti (Meylan et al., 2010).

2 Přehled poznatků

2.1 Sportovní trénink a výkon

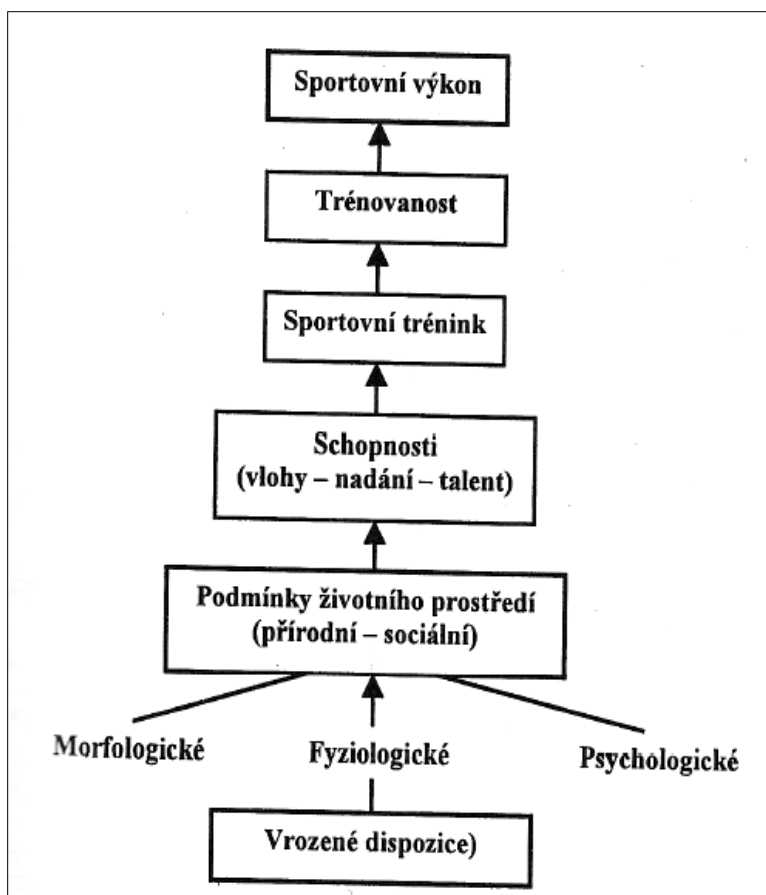
Sportovní trénink je účelně organizovaný a dlouhodobý proces (Perič & Dovalil, 2010), jehož hlavním cílem je dosažení co nejvyšší možné sportovní výkonnosti ve zvoleném sportovním odvětví. Mezi jeho znaky patří vědeckost, dlouhodobost, vyhraněná specializace, soutěživost, dobrovolnost, a také vysoká fyzická a psychická náročnost (Lehnert, Novosad, Neuls, Langer, & Botek, 2010). Mezi úkoly sportovního tréninku patří osvojování sportovních dovedností v tréninku a jejich použití v soutěžních podmínkách, včetně výběru vhodných řešení a rozvoje kreativních schopností, dále stimulace pohybových schopností díky odpovídajícímu zatížení s cílem vytvořit potřebné kondiční základy sportovního výkonu, a také ovlivňování psychiky, osobnosti a chování sportovce (Perič & Dovalil, 2010).

Jednou z největších výzev pro trenéry a sportovce všech kalibrů je navrhnout jejich dlouhodobé a krátkodobé tréninkové programy, aby vyvolaly optimální tréninkové adaptace a maximalizovaly výkon v požadovaných okamžicích soutěžní sezóny. Nejčastěji se plánují dlouhodobé kariérní cesty, aby sportovci dosáhli vrcholu na konci čtyřletého období, které vyvrcholí olympijskými hrami, což se shoduje s jejich sportovní vyspělostí. V krátkodobém horizontu je špičkového výkonu obvykle dosaženo zručným propletením delších fází tvrdého, intenzivního tréninku a kratších fází redukovaného tréninku. Sportovci v týmech jsou však obvykle povinni konzistentně podávat výkon po několik měsíců v ligových soutěžích, ale také dosáhnout vrcholu na velkých regionálních, národních a/ nebo mezinárodních turnajích (Mujika, Halson, Burke, Balagué, & Farrow, 2018). Určité tréninkové úkoly tedy plní tréninkové cykly, které rozlišujeme na základě jejich délky (Perič & Dovalil, 2010):

- Roční tréninkový cyklus – délka cyklu je jeden rok (sezóna), skládá se z makrocyclů
- Makrocyclus – dlouhodobý cyklus, jehož délka je 1–3 měsíce, rozeznáváme makrocyclus přípravného, předzávodního, závodního a přechodného období, makrocyclus se skládá z mezocyclů
- Mezocyclus – střednědobý cyklus, který zpravidla trvá 4 týdny (může trvat 2–6 týdnů), skládá se ze 2 a více mikrocyclů
- Mikrocyclus – krátkodobý cyklus, který trvá většinou týden, může být i kratší (3–4 dny) nebo delší (až 10 dnů), základní jednotka cyklů
- Tréninková jednotka

Víceleté cykly (např. 4letý olympijský) jsou vysoce specifické.

Sportovní výkon je realizován ve specifických pohybových činnostech, jejichž obsahem je řešení úkolů, které jsou vymezeny pravidly příslušného sportu. Rozlišujeme průběh činnosti, jehož analýza hraje v chápání sportovního výkonu zásadní roli, a výsledek činnosti (Dovalil, 2012). Schopnost jedince podávat opakovaně poměrně stabilní výkony bývá označována pojmem sportovní výkonnost. V souvislosti s dobou trvání tréninkového procesu se uvádí, že vrcholných sportovních výsledků bývá zpravidla



Obrázek 1. Dlouhodobé formování sportovní výkonnosti (Dovalil, 2012)

dosahováno po 8 až 12 letech intenzivního tréninku (Botek, Krejčí, & McKune, 2017). Sportovní výkonnost se tedy formuje postupně a dlouhodobě a je výsledkem přirozeného vývoje jedince, vlivů prostředí a vlastního sportovního tréninku (Dovalil, 2012).

Sportovní výkon se skládá z několika komponent. Mezi tyto komponenty či faktory patří somatické, kondiční, taktické, psychické faktory a faktory techniky, jejichž společným znakem je to, že jsou více či méně ovlivnitelné tréninkem nebo se na ně bere zřetel při výběru talentovaných jedinců. Somatické faktory zahrnují konstituční znaky jedince, které se vztahují k příslušnému sportovnímu výkonu. Kondiční faktory představují soubor pohybových schopností (síla, rychlost, vytrvalost, obratnost). Faktory techniky souvisejí se specifickými sportovními dovednostmi a jejich technickým provedením. Taktické faktory jsou součástí tvořivého jednání sportovce (taktické řešení). Psychické faktory zahrnují kognitivní, emoční a motivační procesy, které se uplatňují v řízení a regulaci jednání a vycházejí z osobnosti sportovce (Dovalil, 2012).

2.1.1 Zatížení

Zatížení je základním znakem tréninkového procesu, který za určitých podmínek iniciuje adaptační odezvu organismu (Botek et al., 2017). Tréninkovým zatížením je myšlena skupina plánovitě použitých podnětů, které jsou realizovány formou tréninkových cvičení. Tyto podněty vyvolávají aktuální změnu funkční aktivity organismu sportovce v souladu se stanovenými cíli tréninku (Lehnert et al., 2010). Fyzická aktivita, která reprezentuje adaptační stresový podnět, v organismu vyvolává akutní odezvu neboli stresovou reakci. Velikost této reakce závisí na síle stresového podnětu tedy na velikosti zatížení. Kromě fyzických stresových podnětů existují například i mentální (strach, vztek) nebo environmentální (chlad, horko). Základem odezvy organismu na stres je aktivace stresové osy (Botek et al., 2017). Po vystavení stresovým podnětům vede aktivace sensorických a limbických mozkových systémů nakonec k aktivaci neuronů jádra hypotalamu. Tyto neurony působí jako konečný společný nervový substrát, který slouží k aktivaci osy hypotalamus – hypofýza – nadledviny, což vede k uvolňování kortikosteroidů z kůry nadledvin (Patel, Roelke, Rademacher, Cullinan, & Hillard, 2004) a také katecholaminů (Botek et al., 2017) z dřene nadledvin, které jsou dobře známé svou rolí, kterou hrají v adaptivních procesech nejen v reakci na akutní stres, ale i v klidu (Zouhal, Jacob, Delamarche, & Gratas-Delamarche, 2008). Z krátkodobého hlediska je aktivace této osy prospěšná pro přežití organismu, dlouhodobá aktivace však může mít škodlivé účinky na metabolismus, náladu a kognitivní procesy a je spojena s řadou neuropsychiatrických poruch, včetně úzkosti a deprese (Patel et al., 2004).

Kvantifikace zatížení přispívá k přesnějšimu a individuálnějšímu tréninkovému procesu. Pomáhá také při určování dopadů cvičení na organické a fyzické funkce a udržování rovnováhy ve vztahu kondice – únava (Matos, Clemente, Silva, Pereira, & Carral, 2020). Přesné vyhodnocení tréninkového zatížení má zásadní význam pro plánování a periodizaci tréninku, zejména při prevenci přetrénování a zajištění toho, aby byli sportovci v optimálním stavu pro soutěž. Toho je obzvláště obtížné dosáhnout v týmových sportech, protože mnoho specifických kondičních cvičení se výrazně liší v počtu zúčastněných hráčů a konkrétních taktických rolí, které hráči hrají (Rebelo et al., 2012).

Tréninkové zatížení má dvě složky: vnější zatížení, které je dáno fyzickým a mechanickým rozměrem provedeného cvičení, a vnitřní zatížení, jež je biologickou odezvou na cvičení (Matos et al., 2020). Velikost vnějšího zatížení je dána objemem a intenzitou. Objem zatížení je kvantitativní ukazatel, který je dán dobou či množstvím opakování cvičení. Intenzita zatížení je kvalitativní ukazatel a charakterizuje velikost úsilí, se kterým sportovec provádí daný pohyb. Rozlišují se různé stupně intenzity, např. maximální, střední či nízká

(Perič & Dovalil, 2010). Manipulace s proměnnými, jako jsou frekvence, intenzita, objem a doba trvání cvičení, má za následek fyziologický stres sportovce, který při správném zotavení povede k adaptaci a zlepšení fyzického výkonu (Napier, Ryan, Menon, & Paquette, 2020). Vnitřní zatížení odpovídá velikosti odezvy organismu a narušení homeostázy v důsledku vnějšího zatížení. Vnitřní zatížení je možno sledovat např. pomocí srdeční frekvence nebo krevního laktátu (Botek et al., 2017).

Charakteristickým znakem lidského organismu je stálost vnitřního prostředí, které lze pozorovat prostřednictvím různých ukazatelů (tělesná teplota, krevní tlak, pH krve). Tato stálost vnitřního prostředí bývá nazývána jako homeostáza a stupeň změny v této rovnováze se obecně označuje právě jako stres, který při určité velikosti vychyluje různé systémové funkce (Perič & Dovalil, 2010). Doba návratu jednotlivých systémů, které byly zapojeny, na výchozí úroveň po jednorázovém zatížení se významně liší. V řádu minut se upravuje hodnota srdeční frekvence nebo laktátu, návrat spotřeby kyslíku se pohybuje v hodinách. Po dlouhém tréninku se délka zotavení může ještě prodloužit například z důvodu vzniku svalových mikrotraumat spojených s bolestí svalů, což se projeví ve zvýšené koncentraci kreatinkinázy v krvi po dobu jednoho až dvou dnů po cvičení (Botek et al., 2017).

Tabulka 1. Příklad charakteristik vnějšího a vnitřního zatížení (Dovalil, 2012)

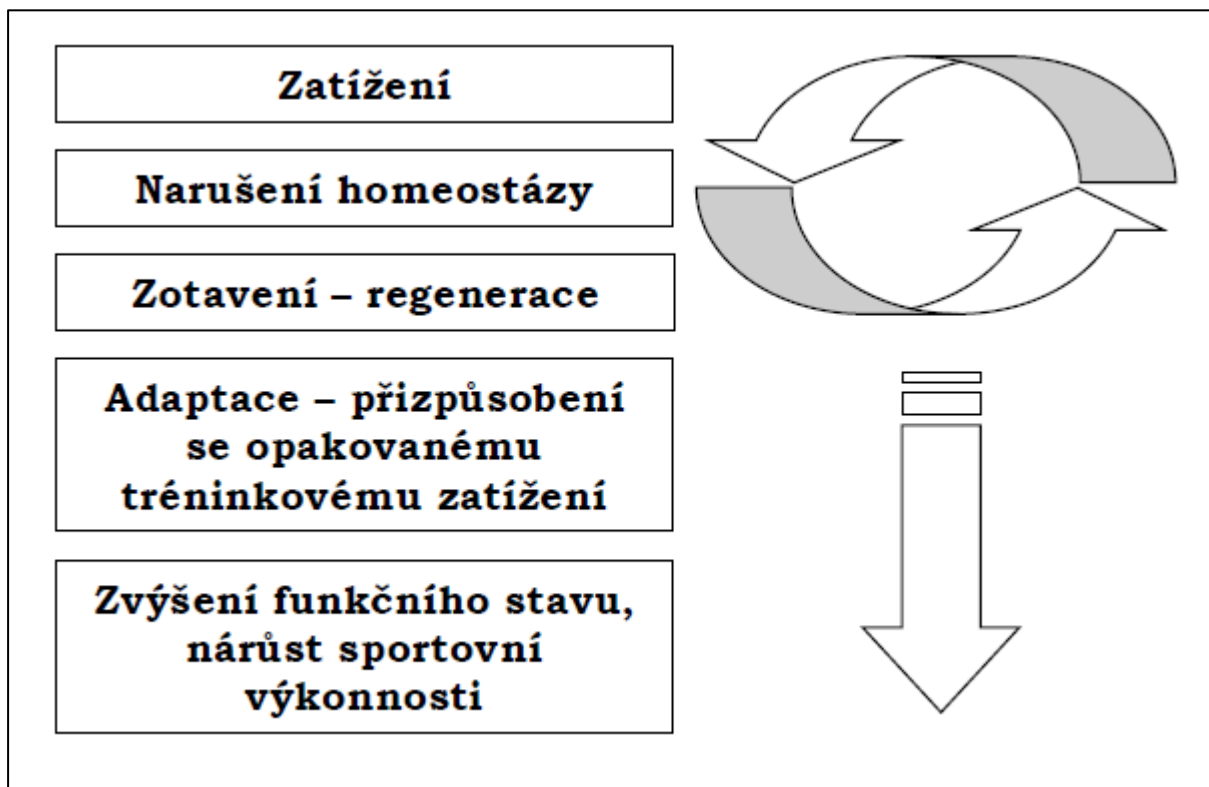
Vnější zatížení	Vnitřní zatížení
Cvičení: běh v terénu 1 km Doba: 3:30 min Intenzita: 4,5 m. s ⁻¹ Opakování: 2x Odpočinek: 5 min	Tepová frekvence 170–175 tepů za minutu Laktát 5,3 – 6,9 mmol. l ⁻¹
Cvičení: lední hokej, řízená cvičná hra Doba: 90 s Intenzita: střední Opakování: 6x Odpočinek: 180 s	Tepová frekvence 162–178 tepů za minutu Laktát 4,1 mmol. l ⁻¹

Jednorázové zatížení však nevede k dlouhodobým adaptačním změnám. Podmínkou vytvoření těchto změn u sportovce je zatěžování (Lehnert et al., 2010), což je dlouhodobé a kumulované působení tréninkových podnětů na organismus, jehož cílem je zvyšování výkonnosti (Botek et al., 2017).

2.1.2 Adaptace

Adaptace je komplexní, individualizovaný a formativní proces, který má geneticky stanovené limity (Lehnert et al., 2010). Při dlouhodobém a opakovaném působení stresových podnětů přestává být pro organismus účelné na tyto podněty reagovat, ale naopak může být efektivnější se přizpůsobit se, neboli se adaptovat (Perič & Dovalil, 2010). To zahrnuje veškeré změny, které byly vyvolány pohybovou činností během tréninku či soutěže a které se projevují zvýšením trénovanosti sportovce (Lehnert et al., 2010). Aby došlo k projevům adaptace, musí být splněny následující podmínky (Botek et al., 2017):

- Stresový podnět musí být dostatečně intenzivní pro vyvolání adaptační odpovědi
- Stresový podnět musí působit opakovaně a dlouhodobě
- Z dlouhodobého hlediska je nutná vyváženost zatížení a zotavení



Obrázek 2. Zatížení jako rozhodující faktor vytváření kondice (Lehnert et al., 2010)

2.1.3 Únava a zotavení

Aktivní pohybová činnost vyvolává únavu, která se projevuje především ve snížení výkonnosti. Rozlišuje se únava tělesná a duševní, dále únava celková a místní, a také únava periferní a centrální (Dovalil, 2012). Svalová únava je považována za komplexní, na úkolu závislý a multifaktoriální fenomén, jehož etiologie je kontroverzním a stálým předmětem mnoha debat (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). Jednoduše ji lze definovat jako pokles výkonnosti a neschopnost dále pokračovat v pohybové aktivitě. Jedná se o fyziologickou únavu, která postupně vymizí v rámci zotavení, avšak nerespektování symptomů této únavy může vést ke vzniku patologické únavy (Botek et al., 2017).

Obecně považované hlavní zdroje únavy (Perič & Dovalil, 2010):

- Snížení energetických rezerv organismu
- Nadbytek některých produktů látkové výměny (např. laktát)
- Narušení vnitřního prostředí organismu
- Změny regulačních a koordinačních funkcí (např. poruchy nervosvalového přenosu)

Stres z tréninku, soutěže a faktorů životního stylu je uznán jako hlavní příčina přetrénování a nedostatečné výkonnosti ve sportu. Proto je důležitá role zotavení ve vztahu zatížení (stres) – zotavení – výkon (Kellmann, 2010). Syndrom přetrénování je považován za výsledek chronického přetěžování organismu, při kterém úroveň tréninkových i mimotréninkových stresových podnětů překročila adaptační možnosti organismu (Botek et al., 2017). Vyvarování se přetrénování a dosažení optimálního výkonu lze dosáhnout pouze tehdy, když jsou sportovci schopni zotavit se a optimálně vyvážit tréninkové zatížení a následné zotavení (Kellmann, 2010). Proto po každém zatížení ve sportovním tréninku musí následovat zotavení směřující k obnově homeostázy, což je jedna z hlavních podmínek zvyšování trénovanosti a výkonnosti (Perič & Dovalil, 2010). Zotavení je považováno za mnohostranný (fyziologický, psychologický) regenerační proces relativní vzhledem k času (Kellmann et al., 2018). Právě při zotavných procesech probíhají hlavní přestavby organismu (Dovalil, 2012). Mezi klíčové rysy zotavení (Kellmann, 2010):

- Zotavení je proces v čase a závisí na typu a délce zatížení
- Zotavení závisí na snížení stresu, změně stresu nebo přerušení stresu
- Zotavení je specifické pro jednotlivce a závisí na individuálním posouzení
- Zotavení může být pasivní, aktivní nebo pro-aktivní
- Zotavení úzce souvisí se situačními podmínkami

Proces zotavení není rovnoměrný. Lze jej rozlišit na fázi rychlou a pomalou. Rychlá fáze trvá asi 5 minut (Dovalil, 2012) a dochází při ní k okamžitému doplnění vyčerpaných energetických zásob a vyloučení určitého množství negativních látek vzniklých během zatížení. K plnému zotavení dochází až na konci pomalé fáze (Perič & Dovalil, 2010), která může trvat několik hodin i dnů od ukončení zatížení. Právě o době nutné pro dosažení plného zotavení organismu neexistují zcela přesné poznatky. Po tréninku zaměřeném na rozvoj rychlosti se tato doba nachází mezi 9 až 36 hodinami, po vytrvalostním tréninku je to do 48 hodin (Botek et al., 2017).

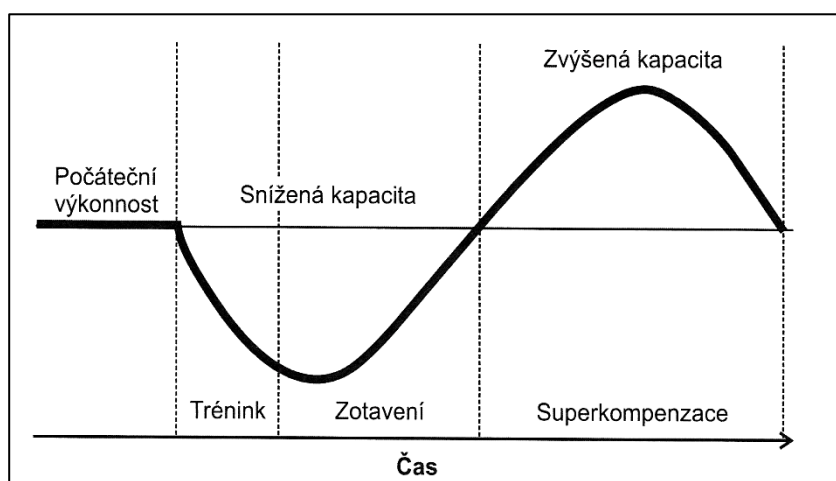
Veškeré činnosti, které mají za cíl rychlé a dokonalejší zotavení, zahrnuje pojem regenerace (Dovalil, 2012). Pasivní metody se mohou pohybovat od aplikace vnějších metod (např. masáže) až po zavedení klidového stavu charakterizovaného nečinností (Kellmann et al., 2018). Velmi důležitou formou pasivního odpočinku je spánek, při kterém dochází k podstatnému snížení řady fyziologických funkcí i psychického napětí (Dovalil, 2012). Aktivní zotavení (např. zklidňující jogging) zahrnuje hlavně fyzické aktivity zaměřené na kompenzaci metabolických reakcí fyzické únavy. Pro-aktivní zotavení (např. sociální aktivity) znamená vysokou úroveň autonomie výběrem aktivit přizpůsobených individuálním potřebám a preferencím. Naproti tomu duševní únavu (tj. kognitivní vyčerpání) lze kompenzovat hlavně použitím strategií psychologického zotavení, jako jsou kognitivní autoregulace, aktivace zdrojů a psychologické relaxační techniky (Kellmann et al., 2018). Perič a Dovalil (2010) uvádějí rozdělení regeneračních prostředků do třech skupin. Mezi těmito skupinami nejsou stanoveny ostré hranice, avšak vzájemně se kryjí a doplňují.

Tabulka 2. Dělení aktivních regeneračních prostředků (Perič & Dovalil, 2010)

Pedagogické prostředky	Biologicko-lékařské prostředky	Psychologické prostředky
Životní styl sportovce	Výživa	Relaxace
Racionální tréninkové zatížení	Masáže	Autoregulační cvičení
Doplňkové činnosti	Vodní procedury	Dechová cvičení
Relaxační cvičení	Tepelné procedury	Pohovory a besedy

2.1.4 Superkompensace

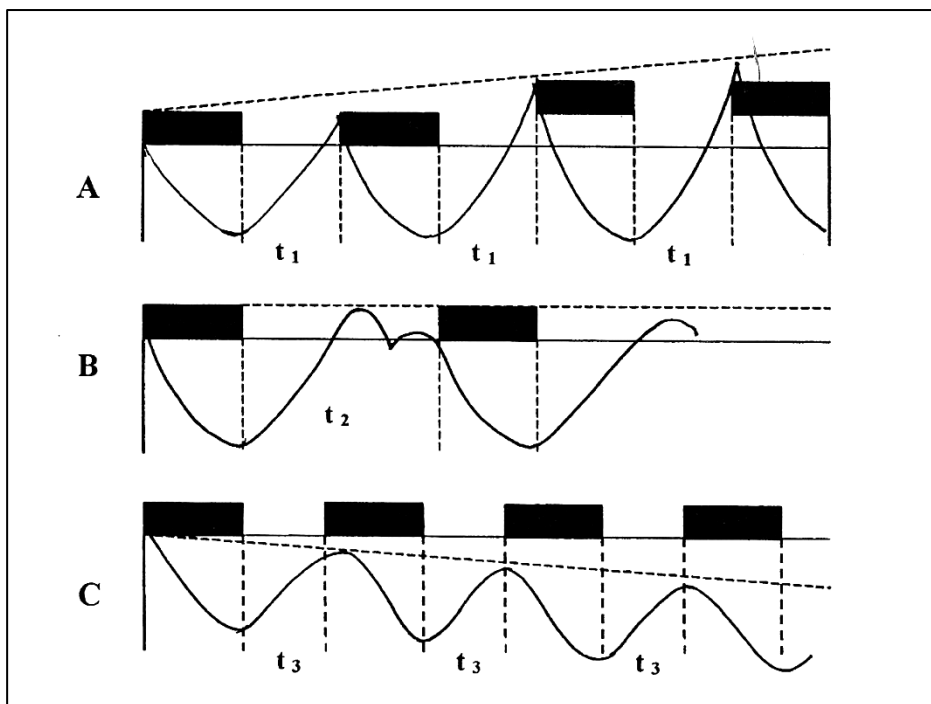
V rovině energetického zabezpečení pohybové činnosti je superkompensace charakterizována jako zvýšená úroveň energetického potenciálu v důsledku předchozího cvičení (Dovalil, 2012). Jedná se však o stav přechodný, navýšení energetického potenciálu není trvalé a po určité době dochází k opětovnému snížení energetických rezerv na původní hodnotu (Perič & Dovalil, 2010). Nástup superkompensace se odvíjí od druhu tréninkového zatížení. U rychlostních a silových cvičení se dostavuje tento efekt dříve, avšak s kratší dobou trvání než u vytrvalostních cvičení (Botek et al., 2017). V zásadě čím vyšší je intenzita zatížení, tím dříve nastupuje superkompensace. Naopak při časově delším zatížení o nižší intenzitě nastává superkompensace později (Dovalil, 2012).



Obrázek 3. Princip superkompensace (Botek et al., 2017)

Za nejoptimálnější dobu pro zahájení dalšího tréninku se považuje právě doba superkompensace, avšak prozatím se nepodařilo s dostatečnou přesností stanovit, kdy k nástupu a kulminaci superkompensace dochází. Za spolehlivou metodu se považuje svalová biopsie, která je však kvůli invazivní povaze nevhodná (Botek et al., 2017). Pozdější zatížení nevede k žádoucím výsledkům z důvodu odeznění superkompensace. Předčasné zatížení taktéž nepřináší žádoucí účinek (Dovalil, 2012).

Superkompensaci nelze chápat jako možnost neomezeného zvyšování výkonnosti. Existuje adaptační strop, který je chápán jako individuální geneticky podmíněná hranice adaptace (Lehnert et al., 2010).



Obrázek 4. Efekt superkompenzace z hlediska frekvence zatěžování; A – optimální interval zotavení, B – zdlouhavý interval zotavení, C – zkrácený interval zotavení, čas $t_1 < t_2$, čas $t_3 < t_1$ (Dovalil, 2012)

Předpoklad optimální doby pro následný možný trénink dle předchozího zatížení (Dovalil, 2012):

- Lehký rychlostní trénink 12 hodin
- Náročný rychlostní trénink 24 hodin
- Lehký anaerobně vytrvalostní trénink 24 hodin
- Těžký anaerobně vytrvalostní trénink 48 hodin
- Lehký aerobně vytrvalostní trénink 24 hodin
- Těžký aerobně vytrvalostní trénink 48 hodin
- Těžký silový trénink 48–72 hodin

2.2 Energetické krytí svalové činnosti

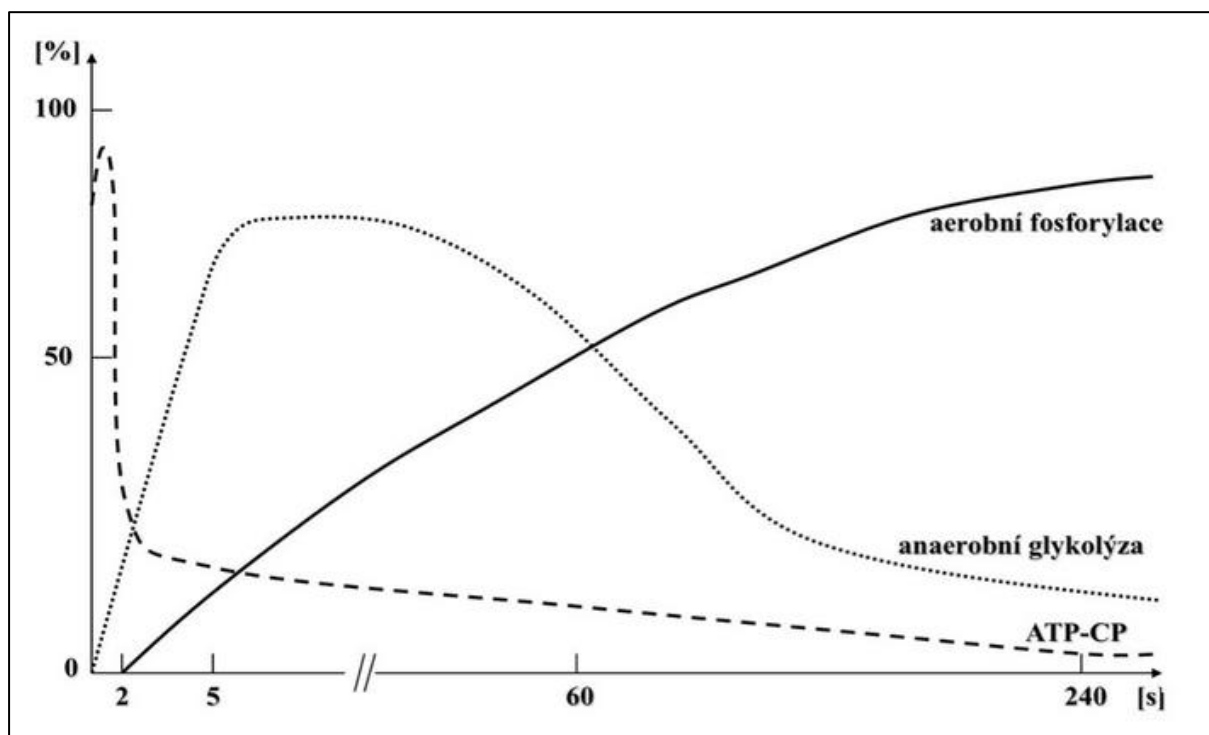
Chemická přeměna látek v organismu se označuje pojmem metabolismus. Ten lze rozdělit na dva opačně fungující procesy – katabolismus a anabolismus. Katabolické procesy jsou procesy rozkladné, tudíž se při těchto procesech z látek složitějších stávají látky jednodušší. Rozklad složitějších látek doprovází vznik energie. Naopak při anabolických procesech z látek jednodušších vznikají látky složitější. Při těchto dějích se energie spotřebovává (Lehnert et al., 2014).

Hlavními energetickými zdroji jsou makroergní fosfáty – adenosintrifosfát (ATP) a kreatinfosfát (CP), a také makroergní substráty, jako jsou sacharidy, lipidy a proteiny. Energetické rezervy sacharidů jsou tvořeny jaterním a svalovým glykogenem (Dovalil, 2012) a také glukózou v krvi. Dospělý člověk má v těle 300 – 500 g glykogenu, což odpovídá energii rovné asi 2500 kcal, a 20 g glukózy, z nichž lze získat přibližně 100 kcal (Lehnert et al., 2014). Během intenzivního přerušovaného cvičení a během dlouhodobé fyzické aktivity se částice svalového glykogenu rozkládají a uvolňují molekuly glukózy, které jsou poté oxidovány ve svalových buňkách anaerobními a aerobními procesy za vzniku molekul ATP (Murray & Rosenbloom, 2018). Lipidy jsou využívány jako zdroj energie při déle trvajícím zatížení. Jejich rezerva v těle je více než dostatečná (Dovalil, 2012). Dospělý muž o hmotnosti 70 kg má v tukových buňkách zásobu energie rovnající se přibližně 112 000 kcal (Lehnert et al., 2014). Proteiny se využívají jako zdroj energie pouze výjimečně. Slouží primárně jako stavební látky (Dovalil, 2012). V nich je uloženo přibližně 25 000 kcal (Lehnert et al., 2014).

Rozhodující pro kontraktální aktivitu kosterního svalstva, a to jak ve výbušném výkonu, ve sprintu trvajícím několik sekund nebo minut, tak ve vytrvalostních událostech trvajících několik hodin, je dostupnost ATP (Hargreaves & Spriet, 2020), jenž je jediným přímým zdrojem energie pro svaly (Lehnert et al., 2014). Protože intramuskulární zásoby ATP jsou relativně malé (~ 5 mmol na kg svalů), nejsou svaly schopny udržet kontraktální aktivitu po delší dobu (Hargreaves & Spriet, 2020). Proto organismus disponuje třemi energetickými cestami zabezpečení dostatečného množství ATP pro pracující svaly (Lehnert et al., 2014). Způsob, jakým bude energie zabezpečena, je závislý na intenzitě a trvání pohybové aktivity (Perič & Dovalil, 2010). Tři způsoby tvorby ATP (Lehnert et al., 2014):

- Makroergní fosfáty (ATP + CP): alaktátová produkce ATP
- Anaerobní glykolýza: laktátová produkce ATP, probíhá v cytoplazmě buňky a pochází pouze ze štěpení sacharidů
- Oxidativní (aerobní) fosforylace: alaktátová produkce ATP, probíhá v buněčných mitochondriích a využívá štěpení sacharidů, lipidů a proteinů

V prvních dvou sekundách pohybu o vysoké intenzitě je výhradním zdrojem energie ATP-CP systém. Při pokračující práci se rychle snižuje příspěvek tohoto systému a přibližně v páté sekundě je nejvyšší podíl energie zajištěn anaerobním štěpením sacharidových zdrojů, které si udrží svůj obrat na stejné úrovni během několika dalších sekund a poté začíná podíl anaerobního štěpení klesat. Přibližně po 60 sekundách pohybové aktivity dochází k vyrovnání příspěvku energie z aerobního a anaerobního systému. Poté už dominuje aerobní fosforylace (Lehnert et al., 2010), která zahrnuje metabolické reakce, při nichž se energie uvolňuje za přítomnosti kyslíku (Dovalil, 2012), a je závislá na respiračním a kardiovaskulárním systému, aby zajistil dostatečný přísun kyslíku ke kontrakci kosterního svalstva, a na snížení ekvivalentů metabolismu primárně sacharidů a tuků (Hargreaves & Spriet, 2020). Asi po 4 minutách maximálního zatížení se podílí ATP-CP systém a anaerobní glykolýza na produkci energie jen z 20 %. Tento podíl jednotlivých systémů platí při maximální intenzitě. S klesající intenzitou zatížení klesá i příspěvek anaerobního metabolismu a dříve se uplatňuje aerobní štěpení sacharidů a mastných kyselin (Lehnert et al., 2010).



Obrázek 5. Zapojení energetických systémů a jejich přibližný podíl na produkci energie při vysoce intenzivní práci (Lehnert et al., 2014)

Anaerobní energetické dráhy mají mnohem vyšší výkon (rychlost produkce ATP), ale menší kapacitu (celkovou produkci ATP) než aerobní dráhy. Pokud jde o aerobní metabolismus, oxidace sacharidů má vyšší výkon, ale má nižší kapacitu než oxidace tuků.

Toto je jeden faktor přispívající ke snížení výdeje energie s vyčerpáním sacharidů během dlouhodobého namáhavého cvičení (Hargreaves & Spriet, 2020).

Je pravda, že relativní příspěvek drah generujících energii ve formě ATP během cvičení je určen především intenzitou a dobou. Existují ale i další faktory ovlivňující metabolismus cvičení, jako jsou trénovanost, předchozí strava, pohlaví, věk a podmínky prostředí (Hargreaves & Spriet, 2020).

Konečným produktem reakcí anaerobní glykolýzy je kyselina mléčná (Dovalil, 2012), která je okamžitě štěpena ve svalové buňce na laktátový aniont a vodíkový kationt (Lehnert et al., 2010). Hromadění laktátu nastává během cvičení s vysokou intenzitou v důsledku vyšší produkce kyseliny mléčné než jejího odstraňování (Billat, Sirvent, Py, Koralsztein, & Mercier, 2003). Zvýšená koncentrace vodíkových kationtů způsobuje pokles pH v pracujícím svalu (Billat et al., 2003; Lehnert et al., 2014), avšak laktát nelze považovat za balastní produkt anaerobních procesů. Naopak je považován za významný zdroj energie pro svaly a myokard, ale jen za aerobních podmínek (Lehnert et al., 2014). Podle možností a potřeb může být laktát oxidován v mitochondriích v Krebsově cyklu, přeměněn na zásobní glykogen nebo může prostoupit buněčnou membránou do mezibuněčných prostor a dále být transportován krví do jiných svalových buněk v pracujících či nepracujících kosterních svalech nebo v myokardu (Lehnert et al., 2010).

2.3 Pohybové schopnosti

Pohybové schopnosti jsou považovány za kondiční faktory sportovního výkonu (Dovalil, 2012) a jejich rozvoj je cílem kondiční přípravy či kondičního tréninku (Perič & Dovalil, 2010). Kondiční trénink se dělí na nesespecifický a specifický. Obsahem nesespecifického tréninku je široké spektrum kondičních cvičení zaměřených na rozvoj kondičních motorických schopností, jež jsou základem pro všechny sporty. Cvičení působí nejen na velké množství svalových skupin, ale především na bioenergetické funkční kapacity, což vede k morfologickým adaptacím. Specifický kondiční trénink je zaměřen na motorické schopnosti, které přímo ovlivňují sportovní výkon v dané specializaci. Výběr cvičení závisí na pohybech uskutečňovaných během výkonu, na polohách, ve kterých se tyto pohyby uskutečňují, na energetickém sycení, nejvíce zapojovaných kloubech, rozsahu pohybu a dalších charakteristikách (Lehnert et al., 2014).

Podle charakteristik, jako jsou síla svalové kontrakce, rychlost pohybu a trvání, se rozlišují kondiční pohybové schopnosti silové, rychlostní a vytrvalostní (Dovalil, 2012). Mezi pohybové schopnosti patří také pohyblivost či flexibilita charakterizovaná dosažením potřebného kloubního rozsahu (Lehnert et al., 2010) a koordinační schopnosti, které mají velký význam při rozvoji kvality pohybového projevu (Jebavý, Kovářová, & Horčic, 2019).

2.3.1 Síla

V oblasti sportovního tréninku je síla charakterizována jako schopnost překonávat, udržovat či brzdít vnější odpor svalovou kontrakcí (Dovalil, 2012; Perič & Dovalil, 2010). Její optimální rozvoj umožňuje sportovcům realizovat pohyb a efektivně řešit pohybové úkoly, ať už v tréninku nebo soutěži (Lehnert et al., 2010). Podle druhu kontrakce můžeme sílu dělit na statickou a dynamickou. Svalovou kontrakcí se označuje stah svalu, který je mechanickou odpovědí na nervový vzruch (Jebavý et al., 2019). Statická síla je charakteristická izometrickou kontrakcí, při které se úsilí neprojevuje pohybem. Jedná se o udržení těla nebo břemene v určité poloze. Dynamická síla je charakteristická změnou délky svalu a může se dělit podle typu pohybu svalu. Při zkrácení svalu se jedná o koncentrickou sílu, při násilném protažení hovoříme o excentrické nebo též brzdivé síle (Perič & Dovalil, 2010). Rozlišujeme také následující druhy síly (Lehnert et al., 2014):

- Maximální síla – schopnost vyvinout nejvyšší možnou úroveň síly při dynamickém či statickém cvičení
- Rychlá síla (startovní a explozivní) - schopnost dosáhnout co největšího silového impulsu v časovém intervalu. Při provedení pohybu maximální rychlostí v nejkratším čase se jedná

o startovní sílu. Při dosažení co nejvyšší rychlosti v konečné fázi pohybu jde o explozivní sílu.

- Reaktivní síla – schopnost vytvořit silový impuls v cyklu natažení – zkrácení svalu, jejíž podstatou je plyometrická svalová kontrakce
- Vytrvalostní síla – schopnost opakovaně překonávat nebo brzdit nemaximální odpor

Tabulka 3. Velikost odporu, rychlost pohybu a trvání pohybu při klasifikaci silových schopností (Dovalil, 2012)

Druh silové schopnosti	Velikost odporu	Rychlost pohybu	Opakování (trvání) pohybu
Maximální	Maximální	Malá	Krátce
Rychlá	Nemaximální	Maximální	Krátce
Vytrvalostní	Nemaximální	Nemaximální	Dlouho

Kosterní sval je tvárná tkáň schopná změnit typ a množství proteinu v reakci na narušení buněčné homeostázy. Komplexní proces adaptace v kosterním svalu vyvolané cvičením zahrnuje specifické signální mechanismy iniciující replikaci genetických sekvencí DNA, které umožňují následný překlad genetického kódu do řady aminokyselin za účelem vytvoření nových proteinů. Funkční konsekvence těchto adaptací jsou určeny tréninkovým objemem, intenzitou a frekvencí. Mnoho funkcí adaptace na trénink je navíc specifické pro daný typ stimulu, jako například způsob cvičení. Cvičení s těžkým odporem stimuluje adaptivní aparát odpovědný za svalovou hypertrofii a maximální výkon síly kontrakce (Coffey & Hawley, 2007). Změny svalové síly v důsledku tréninku jsou spojeny s následujícími mechanismy (Lehnert et al., 2010):

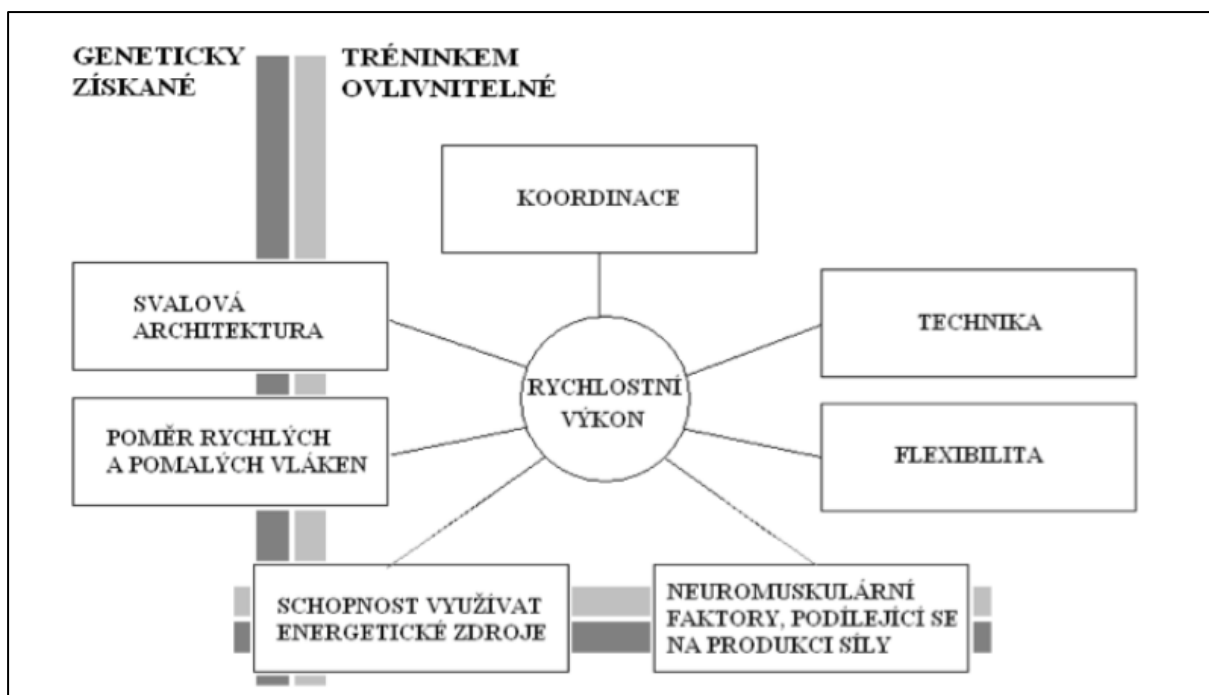
- Zvětšení kontraktálních struktur (aktin, myozin) svalovou hypertrofií
- Zvětšení energetických zásob ve svalu a přísun dostatečného energetického potenciálu do svalového aparátu
- Zlepšení neurálních předpokladů svalového aparátu intramuskulární a intermuskulární koordinací
- Zlepšení funkčních vlastností svalů (např. rychlost kontrakce)

Vzestup silových schopností lze rozdělit do tří základních etap. V první etapě dochází k mírnému zvyšování síly po dvou až třech týdnech tréninku, což je výsledek zlepšené

techniky provádění pohybu. V druhé etapě dochází k neurální adaptaci. Zhruba po šesti až osmi týdnech tréninku roste síla díky efektivnějšímu zapojování motorických jednotek. Ve třetí etapě dochází k svalové hypertrofii po 12 týdnech tréninku (Lehnert et al., 2014).

2.3.2 Rychlost

V mnoha sportovních odvětvích je sportovní výkon podmíněn provedením pohybů s vysokou až maximální možnou rychlostí (Lehnert et al., 2010). Taková činnost je prováděna maximálním volným úsilím, tedy maximální intenzitou. Jedná se o pohyby bez odporu nebo s malým odporem (Dovalil, 2012) do 20 % maxima (Lehnert et al., 2014). Rychlost energeticky zajišťuje převážně ATP-CP systém, tudíž se o rychlostních schopnostech uvažuje pouze tehdy, kdy maximální výkon není omezen únavou, která by způsobila pokles intenzity pohybu. Proto je při tréninku rychlosti důležité zaměřit se na interval odpočinku, což zajistí podání rychlostních výkonů opakovaně a bez ztráty kvality (Perič & Dovalil, 2010). Z pohybových schopností je právě rychlost nejvíce geneticky podmíněna. Existuje řada faktorů, které se promítají do každého rychlostního výkonu, avšak jejich podíl se může lišit v jednotlivých sportech a disciplínách. Rychlostní schopnosti jsou úzce spojeny s vyvinutím rychlé síly, koordinací a motorickým učením (Lehnert et al., 2014).



Obrázek 6. Faktory ovlivňující rychlost pohybu (Lehnert et al., 2010)

Chápání a dělení rychlosti jako pohybové schopnosti není mezi autory zcela jednotné (Lehnert et al., 2010). Lehnert et al. (2014) vychází z členění rychlosti na elementární a

komplexní. Elementární rychlost má základ v časových programech cyklického nebo acyklického charakteru, které jsou součástí příslušných motorických programů. Existuje předpoklad krátkých efektivních časových programů (<170 s) díky vysoké úrovni rychlosti. Komplexní rychlost je vázána na ostatní výkonnostní (fyzické, psychické) předpoklady. Dělí se na reakční rychlost, akční rychlost a rychlost jednání.

Reakční rychlost

Je dána dobou reakce na určitý podnět (Perič & Dovalil, 2010). Vyjadřuje se tedy časem mezi začátkem působení podnětu a zahájením pohybu. Rychlost reakce se dále rozlišuje na jednoduchou a výběrovou reakci. Jednoduchá reakce je odpověď sportovce na stálý, přesně určený podnět. Výběrová reakce představuje odpověď na různé očekávané nebo nečekané podněty. Je prodloužena o dobu nezbytnou k rozhodování a výběru řešení (Lehnert et al., 2014). Podle druhu podnětu se rozlišují akustické, optické, taktilní a kinestetické signály, u kterých se doba reakce liší (Lehnert et al., 2010).

Tabulka 4. Příklady reakčních rychlostí na různé podněty (Lehnert et al., 2010)

Podnět	Reakční čas (s)
Taktilní (dotykový)	0,14-0,16
Akustický (sluchový)	
• Běžná populace	0,15-0,16
• Sportovci	0,07-0,10
Optický (vizuální)	0,19-0,21

Akční rychlost

Akční rychlost je výsledek rychlosti svalové kontrakce a činnosti nervového systému. Dělí se na acyklickou a cyklickou pohybovou rychlost (Lehnert et al., 2014). U acyklické rychlosti se většinou jedná o rychlost jednotlivého pohybu, u které je možno přesně rozlišit začátek a konec pohybu (Perič & Dovalil, 2010). Cyklická rychlost je charakteristická nepřerušovaným opakováním určitého pohybového celku vysokou frekvencí. Rozlišují se různé druhy cyklické rychlosti (Lehnert et al., 2014; Perič & Dovalil, 2010):

- Akcelerační rychlost – dosažení maximálního zrychlení v co nejkratším čase
- Frekvenční rychlost – rychlost opakujících se pohybů za jednotku času
- Rychlost se změnou směru – závisí na zrychlení, zpomalení a koordinaci

Rychlost jednání

Je chápána jako schopnost k zahájení rychlé pohybové realizace, která je závislá na psychických a neurobiologických řídicích systémech (Lehnert et al., 2014).

Rozvoj rychlostních schopností patří k nejtěžším tréninkovým úkolům (Dovalil, 2012). Jejich zlepšení v průběhu dlouhodobého tréninku dosahuje maximálně 15-20 % výchozí hodnoty. Uvádí se, že je to nejhůře trénovatelná pohybová schopnost (Lehnert et al., 2010).

Rychlostní zatížení je vymezené těmito charakteristikami (Lehnert et al., 2010):

- Intenzita cvičení – maximální
- Trvání cvičení – do 10-15 s
- Počet opakování – 10-15, závisí na druhu rychlosti, aktuálním stavu sportovce, trénovanosti, překonané vzdálenosti, vnějších podmínkách (Lehnert et al., 2014)
- Interval odpočinku – 2-5 min
- Způsob odpočinku – aktivní

2.3.3 Vytrvalost

Vytrvalostí se označuje komplex předpokladů provádět činnost požadovanou intenzitou co nejdéle nebo co nejvyšší možnou intenzitou ve stanoveném čase (Dovalil, 2012). Obecně ji lze chápat jako schopnost odolávat únavě (Perič & Dovalil, 2010). Výkon ve vytrvalostních disciplínách je proto silně závislý na aerobní resyntéze ATP, což vyžaduje odpovídající přísun kyslíku z atmosféry do mitochondrií v transportním elektronovém řetězci a přísun paliv ve formě sacharidů a lipidů (Jones & Carter, 2000). Faktory, které ovlivňují vytrvalost, jsou následující (Lehnert et al., 2010):

- Genetické a somatické předpoklady
- Poměr zastoupení jednotlivých druhů svalových vláken
- Výkonnost a efektivita systémů zabezpečujících transport a výměnu kyslíku a oxidu uhličitého
- Regulační plasticita metabolických dějů
- Efektivní souhra agonistů a antagonistů s důrazem na význam relaxace antagonistů
- Automatizace pohybových dovedností na základě vysoké úrovně osvojení realizované pohybové činnosti

Vytrvalostní výkony jsou také závislé na činitelích, jako jsou ekonomika pohybu, schopnost příjmu kyslíku, optimální tělesná hmotnost, úroveň volní kontrakce zaměřená na

překonání vznikající únavy, rozvoj druhu vytrvalosti a způsob energetického krytí (Lehnert et al., 2010).

Podle cílů vytrvalostního tréninku lze vytrvalost rozdělit na základní a speciální, která je brána jako komplex speciálních vytrvalostních schopností (Lehnert et al., 2014).

Tabulka 5. Členění speciální vytrvalosti (Lehnert et al., 2014)

Dělicí kritérium	Druh vytrvalostní schopnosti
Způsob energetického krytí	aerobní – anaerobní
Doba trvání pohybové činnosti	rychlostní – krátkodobá – střednědobá – dlouhodobá
Charakter pohybové činnosti	cyklická – acyklická
Zapojení svalstva	celková – lokální
Druh svalové činnosti	dynamická – statická

Dle trvání pohybové aktivity se rozlišuje vytrvalost dlouhodobá, střednědobá, krátkodobá a rychlostní. Dlouhodobá vytrvalost je schopnost vykonávat pohyb o požadované intenzitě déle než 10 minut. Energetické krytí je zajištěno aerobně, tedy za přístupu kyslíku je využíván glykogen, později i tuky. U střednědobé vytrvalosti trvá pohybová činnost 8–10 minut a intenzita by měla odpovídat co možná nejvyšší spotřebě kyslíku. Energie je získávána z glykogenu anaerobní i aerobní cestou. Krátkodobá vytrvalost je schopnost pohybovat se o co nejvyšší možné intenzitě po dobu 2–3 minut. Činnost je zajištěna anaerobní glykolýzou, tedy štěpením glykogenu bez přístupu kyslíku. Rychlostní vytrvalost je schopnost podávat výkon o maximální intenzitě co možná nejdéle. Udává se rozmezí 20–30 s. Energeticky je zajištěna aktivací ATP-CP systému, kde je převažujícím zdrojem energie kreatinfosfát, a to bez využití kyslíku (Dovalil, 2012), a také anaerobní glykolýzou (Lehnert et al., 2010).

Pravidelný vytrvalostní trénink vyvolává četné fyziologické adaptace, které usnadňují zlepšenou cvičební kapacitu, tj. schopnost udržet danou submaximální zátěž po delší dobu nebo dosáhnout vyššího průměrného výkonu během dané vzdálenosti nebo času (Gibala et al., 2006). Trénink způsobuje adaptace v dýchacím, kardiovaskulárním a neuromuskulárním systému, které zlepšují přísun kyslíku z atmosférického vzduchu do mitochondrií a zvyšují kontrolu metabolismu ve svalových buňkách (Jones & Carter, 2000). V dýchacím systému dojde k vzestupu síly a celkové výkonnosti dýchacích svalů, ke zvýšené propustnosti alveokapilární membrány, což usnadňuje průchod kyslíku z plic do krve, a v mladším věku ke

zvýšení vitální kapacity plic. Také se zlepšuje ekonomika dýchání, a to především díky zvýšené schopnosti extrahovat kyslík z vdechovaného vzduchu. Adaptace kardiovaskulárního systému se projevuje poklesem srdeční frekvence (SF) během submaximálního zatížení, a také vzestupem systolického objemu, který tak umožňuje stejný minutový srdeční výdej při snížené SF. Kromě poklesu SF při submaximálním zatížení, klesá i klidová SF, a to taktéž díky zvýšení systolického objemu (Lehnert et al., 2014). Průměrná klidová SF se pohybuje u netrénovaného člověka v rozmezí 60–80 tepů za minutu. U vrcholových sportovců se po několikaletém vytrvalostním tréninku mohou hodnoty klidové SF pohybovat přibližně v rozmezí 30–40 tepů za minutu (Botek et al., 2017). Svalová adaptace na vytrvalostní trénink je charakteristická zvětšením počtu a velikosti mitochondrií, zlepšením aktivity aerobních enzymů, zvýšenou kapilarizací svalstva, zlepšením metabolismu tuků, zvýšením zásob glykogenu (Lehnert et al., 2010) a zvýšením koncentrace myoglobinu (Lehnert et al., 2014). Vytrvalostní trénink má vliv i na autonomní nervový systém. Jeho adaptace se projevuje vzestupem aktivity parasymptiku v klidu (Botek et al., 2017; Lehnert et al., 2010)

2.4 Srdeční frekvence

Schopnost sledovat intenzitu cvičení během fotbalového tréninku lze využít k poskytnutí důležité zpětné vazby trenérovi ohledně tréninkového stimulu aplikovaného na hráče. Nyní je běžné, že profesionální fotbalové týmy nejvyšší úrovně sledují intenzitu tréninku pomocí technických zařízení, jako jsou systémy sledování srdeční frekvence a zařízení pro sledování hráčů. Tyto systémy lze použít k poskytování užitečných informací o vnějším (vzdálenost) a vnitřním (srdeční frekvence) tréninkovém zatížení, které hráči podstoupili (Coutts, Rampinini, Marcora, Castagna & Impellizzeri, 2009). Je dobře známo, že srdeční frekvence (SF) lineárně souvisí s absorpcí kyslíku (VO_2) v širokém rozsahu submaximálních intenzit. Stanovením vztahu mezi SF a VO_2 lze SF následně použít k odhadu VO_2 , což poskytne důvěryhodný obraz o intenzitě prováděné práce. S vývojem přenosných bezdrátových monitorů SF se srdeční frekvence stala nejběžnější používanou metodou pro získání indikace intenzity cvičení v terénu. SF je snadno sledovatelná a během cvičení vykazuje velmi stabilní vzorec a sportovci mohou v případě potřeby okamžitě použít údaje o SF k úpravě intenzity cvičení (Achten & Jeukendrup, 2003). Absolutní hodnota SF se při cvičení zpravidla vztahuje k hodnotě maximální srdeční frekvence (SF_{max}) a vypočítává se tak její procentuální podíl ze SF_{max}. Například 20letý sportovec se SF_{max} 198 tepů za minutu běží se SF 168 tepů za minutu; % SF_{max} = $([168 / 198] \times 100)$; intenzita běhu je tedy na úrovni 84 % SF_{max}. Intenzitu zatížení lze také vyjádřit v procentech maximální tepové rezervy (MTR): 20letý sportovec se SF_{max} 198 tepů za minutu a klidovou SF 55 tepů za minutu běží se SF 168 tepů za minutu; %MTR = $([168-55] / [198-55]) \times 100$; intenzita zatížení odpovídá 79 % MTR (Botek et al., 2017; Lehnert et al., 2014). Použití procenta MTR se jeví jako přesnější prostředek pro stanovení a předepsání intenzity, protože tato metoda zohledňuje skutečnost, že klidová SF se mění s věkem a úrovní kondice a SF_{max} s věkem klesá (Borresen & Lambert, 2009).

Monitorování SF má také různá omezení. Vztah mezi SF a dalšími fyziologickými parametry (jako je VO_2 nebo koncentrace laktátu v krvi) se často stanoví v laboratorních podmínkách. Byly identifikovány některé faktory, které mohou tyto vztahy potencionálně ovlivnit (Achten & Jeukendrup, 2003). Mezi tyto faktory patří faktory prostředí (hluk, světlo, teplota), fyziologické faktory (morfologie srdce, objem plazmy, autonomní aktivita), patologické faktory (kardiovaskulární onemocnění), psychologické podmínky (např. nálada, emoce, stres) a neměnné faktory (např. věk, pohlaví, etnická příslušnost), životní styl (např.

kondice, spínek, léky, tabák, alkohol) a determinanty fyzické aktivity, mezi které patří intenzita, trvání, ekonomika pohybu, poloha těla (Schneider et al., 2018).

Zatímco je SF využívána při zatížení jako jednoduchý indikátor jeho intenzity, v klidových podmínkách se využívá jako ukazatel funkčního stavu organismu (únava, onemocnění, přetížení, přetrénování apod.). Hlavním regulátorem SF je aktivita autonomního nervového systému (Lehnert et al., 2014).

2.5 Autonomní nervový systém

Autonomní (vegetativní) nervový systém (ANS) je jako součást nervové soustavy odpovědný za kontrolu viscerálních funkcí a orgánů (Rokyta, 2015) a je zcela nepostradatelný pro udržení homeostázy. Prostřednictvím neurotransmiterů svých postgangliových nervových vláken řídí činnost vnitřních orgánů, resp. hladkých svalů, myokardu a žláz (Otomar & Mikuláš, 2009). ANS nepodléhá volní kontrole, avšak jeho fungování může ovlivnit psychika (Orel, 2019).

ANS se dělí na centrální část a periferní část (Orel, 2019). Centrální část tvoří mícha, prodloužená mícha, mezimozek a mozková kůra. Periferní část je tvořena senzomotorickými vlákny, která přivádějí informace z vnitřního prostředí k efektorům (Botek et al., 2017). Vegetativní řízení má tři oddíly: sympatikus (pars sympathica), parasympatikus (pars parasympathica) a enterický systém (Orel, 2019). Centra sympatiku i parasympatiku jsou uložena v hypotalamu. Parasympatikus neboli část kraniosakrální má těla neuronů uložena v mozkovém kmeni a v postranních rozích sakrální míchy. Sympatikus nebo část thorakolumbální má těla neuronů uložena v postranních rozích míšních (Rokyta, 2015). Obě větve zasahují také do řízení enterického systému, jehož funkcí je regulace motoriky a motility vnitřních stěn trávicího ústrojí, sekrece žláz a absorpce (Botek et al., 2017). Sympatikus a parasympatikus mají většinou protichůdný účinek (Otomar & Mikuláš, 2009), avšak jejich aktivita může být i souhlasná, např. při sekreci slin (Botek et al., 2017). Protichůdný účinek je dán rozdílnými neurotransmitery, které jsou uvolňované z postgangliových vláken. Parasympatikus působí na cholinergní receptory cílových buněk prostřednictvím acetylcholinu, naopak sympatikus většinou působí na adrenergní receptory prostřednictvím noradrenalinu (Otomar & Mikuláš, 2009).

Pregangliová vlákna sympatiku vycházejí z hrudní a bederní míchy a většina z nich končí v gangliích sympatiku umístěných v blízkosti páteře. Postgangliové neurony sympatiku vytvářejí pleteně, které putují k orgánům samostatně nebo podél tepen. Pregangliová vlákna parasympatiku, která jsou velmi dlouhá, vycházejí z mozkového kmene (Orel, 2019), který je tvořen prodlouženou míchou, Varolovým mostem a středním mozkem (Rokyta, 2015), a z křížových míšních segment. Nejmohutnějším parasympatickým nervem je nervus vagus (Orel, 2019). Proto bývá také v literatuře aktivita parasympatiku nazývána jako aktivita vagu (Botek et al., 2017). Pregangliová vlákna jsou díky myelinové pochvě rychlejší, jejich rychlost vedení je 3–15 m. s⁻¹. Postgangliová vlákna nejsou myelinizována, proto jsou značně pomalejší. Jejich rychlost vedení je 0,7–2,3 m. s⁻¹ (Rokyta, 2009).

Sympatikus tvoří spolu s hormony dřeně nadledvin aktivační systém, který bývá označován jako sympato-adrenální a uplatňuje se při stresové reakci, kdy aktivizuje organismus. Mezi základní účinky sympatiku patří zvýšení srdeční frekvence a dýchání, útlum činnosti trávicí soustavy, rozšíření zorniček či průsvit tepen. Parasympatikus je aktivován v klidu a po jídle. Mezi jeho základní účinky patří zpomalení srdeční frekvence a dýchání, aktivace činnosti trávicí soustavy (Orel, 2019).

Tabulka 6. Funkce ANS v jednotlivých orgánech (Rokyta, 2015)

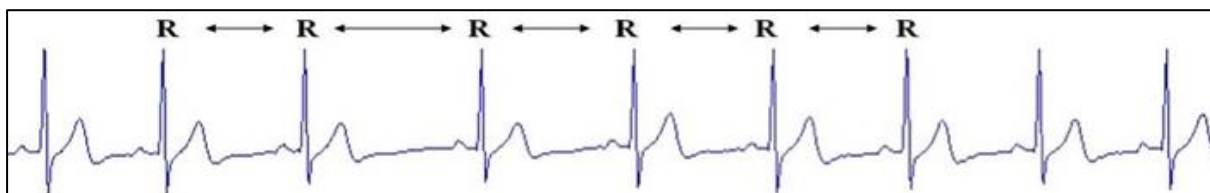
	Sympatikus	Parasympatikus
Srdce	↑ inotropie, chronotropie, dromotropie, batmotropie	↓ inotropie, chronotropie, dromotropie, batmotropie
Cévy	Vazokonstrikce ve splachnické oblasti a kůži Vazodilatace v kosterních svalech, srdci a mozku	Vazodilatace ve splachnické oblasti a kůži ↓ vodivost a frekvence v srdci
Plíce	bronchodilatace	bronchokonstrikce
Oko	Rozšíření zornice Akomodace do dálky	Zúžení zornice Akomodace do blízka
Gastrointestinální ústrojí	↓ žaludeční a střevní motilita ↓ funkce žláz ↑ tonus svěračů	↑ žaludeční a střevní motilita ↑ sekrece a kontrakce žláz ↓ tonus svěračů
Kůže	↑ sekrece potu (dlaně) Vazokonstrikce Kontrakce pilomotorických hladkých svalů	- - -
Pohlavní systém	Ejakulace Kontrakce dělohy při porodu	Erekce

2.6 Variabilita srdeční frekvence

Variabilita srdeční frekvence (VSF) je neinvazivní reprodukovatelné měřítko funkce autonomního nervového systému odpovídající rovnováze mezi sympatickými a parasympatickými účinky na tempo sinoatriálního uzlu (Besnier et al., 2017). Pravidelné sledování stavu srdečního autonomního nervového systému měřením VSF v klidu nebo po cvičení je jednou z nejslibnějších metod monitorování individuální adaptace na trénink (Plews, Laursen, Stanley, Kilding & Buchheit, 2013). Význam VSF spočívá také v její schopnosti předvídat nežádoucí srdeční příhody a úmrtnost nejen u pacientů s kardiovaskulárním onemocněním, ale také v běžné populaci (Nunan et al., 2009). Nízká VSF je spojena právě se zvýšenou úmrtností, výskytem nových srdečních příhod a rizikem náhlé srdeční smrti u asymptomatických pacientů, naopak vysoká VSF je spojena s vysokými hodnotami VO₂max (Achten & Jeukendrup, 2003).

Využití hodnocení aktivity ANS ve sportovní praxi (Botek, Neuls, Klimešová & Vyhnánek, 2017):

- Optimalizace tréninkového zatížení (maximální využití adaptační kapacity sportovce, minimalizování rizika vzniku přetížení nebo přetrénování)
- Objektivní hodnocení míry vnitřního zatížení organismu
- Hodnocení průběhu a kvality zotavení a stanovení optimálního začátku dalšího tréninkového adaptačního podnětu
- Ladění sportovní formy
- Výběr talentovaných („trénovatelných“) sportovců
- Hodnocení průběhu aklimatizace při pobytu ve vyšších nadmořských výškách nebo při rychlém přesunu přes časová pásma



Obrázek 7. Ilustrace variability srdeční frekvence (Lehnert et al., 2014)

2.6.1 Faktory ovlivňující VSF

Obecně je VSF ovlivněna mnoha různými faktory, jako jsou chemické, hormonální a nervové modulace, cirkadiánní změny, cvičení, emoce, poloha těla a přetížení (Voss, Schroeder, Heitmann, Peters & Perz, 2015). Opakovaně bylo prokázáno, že pravidelný

aerobní trénink vyvolává nárůst klidové aktivity vagu, která souvisí s adaptací (Botek et al., 2016), a jelikož byl prokázán vliv věku na VSF (Botek et al., 2017), fyzická aktivita může mít také zpomalující účinek na pokles aktivity vagu ovlivněný stárnutím (Botek et al., 2016). Antelmi et al. (2004) zjistili, že většina parametrů VSF klesala s rostoucím věkem, a zároveň byla zpozorována významná inverzní korelace: zvýšení srdeční frekvence bylo doprovázeno snížením VSF. Naopak ve studii Botka et al. (2016) byla klidová SF o 6 tepů za minutu nižší u nejstarších hráčů ve srovnání s nejmladšími hráči, a zároveň hráči starší 30 let vykazovali významně nižší aktivitu vagu ve srovnání s mladšími hráči. Pokles aktivity vagu má za konečný důsledek přesun sympatovagové balance směrem k sympatiku, což, jak už bylo dříve zmíněno, může být potlačeno pravidelným tréninkem vytrvalostního charakteru (Botek et al., 2017).

Dalším faktorem ovlivňujícím VSF je pohlaví. Ačkoli byla u mužů zjištěna celkově vyšší aktivita ANS (Botek et al., 2017), u žen byly objeveny vyšší hodnoty indexů vagové modulace (Antelmi et al., 2004; Voss et al., 2015), což by mohlo odpovídat vyšší ochraně vůči kardiovaskulárnímu onemocnění u žen (Abhishekh et al., 2013). Tyto intersexuální rozdíly jsou spojovány s odlišnou produkcí hormonů, zejména estrogenů a oxytocinu, a také funkcí CNS (Botek et al., 2017). S věkem se aktivita ANS snižuje u obou pohlaví a rozdíly ve vagové regulaci související s pohlavím se začínají snižovat ve věku 50 let (Voss et al., 2015).

Vystavení se stresu také ovlivňuje parametry VSF. Intenzivní fyzické cvičení nebo intenzivní duševní nebo emoční stres zapříčiňuje zvýšenou aktivitu sympatiku, což může vést k potížím při usínání nebo k vzrušení během spánku, pokud k němu dojde těsně před spánkem (Tobaldini, Narkiewicz, Somers & Montano, 2013). Je dokázán také vliv spánku. Byla zpozorována snížená VSF ve všech stádiích spánku u lidí trpících nespavostí (Stein & Pu, 2012). Vlivem nedostatečného spánku nebo jeho špatné kvality u zdravých osob dochází k redukci aktivity vagu a relativnímu vzestupu aktivity sympatiku (Botek et al., 2017).

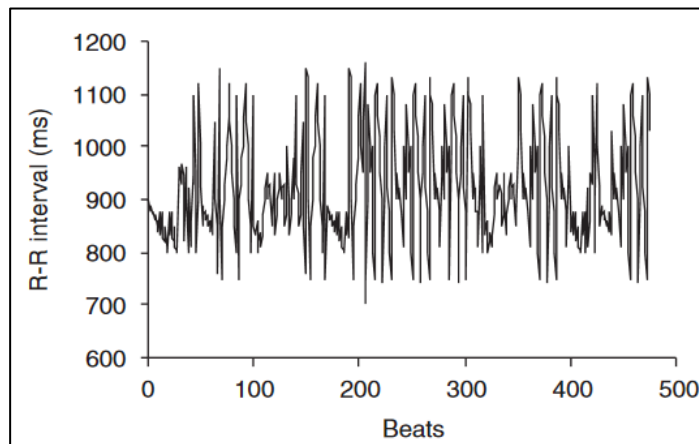
Rozhodně negativní vliv má konzumace alkoholu a kouření. Jak po požití alkoholu, tak po kouření dochází k redukci aktivity vagu, čímž se redukuje i tréninkový adaptační potenciál (Botek et al., 2017).

2.6.2 Časové ukazatele VSF

I když je SF relativně stabilní, čas mezi dvěma údery (R-R) se může podstatně lišit. VSF se hodnotí zkoumáním variací „beat-to-beat“ v normálních intervalech R-R. Původně

byla VSF kvantifikována v časové doméně, tj. intervaly R-R v milisekundách (ms) vynesené proti času (Achten & Jeukendrup, 2003). Mezi časové ukazatele VSF patří SDNN (ms), jež je standardní odchylka všech R-R intervalů v záznamu, rMSSD (ms), což je druhá odmocnina z průměru umocněných rozdílů mezi sousedními R-R intervaly, SDDSD (ms), který je definován jako standardní odchylka rozdílů mezi sousedními R-R intervaly, a pNN50 (%), jež je počet sousedních R-R intervalů, které se liší o více než 50 ms, vydělený celkovým počtem R-R intervalů a vyjádřený v procentech (Botek et al., 2017).

Kromě časových ukazatelů existují také frekvenční neboli spektrální ukazatele, které nehodnotí průběh R-R intervalů v čase, ale hodnotí výsledky ze spektrální analýzy, která převede záznam R-R intervalů na tzv. spektrální výkonovou hustotu, která vyjadřuje závislost výkonu jednotlivých složek signálu na frekvenci (Botek et al., 2017).



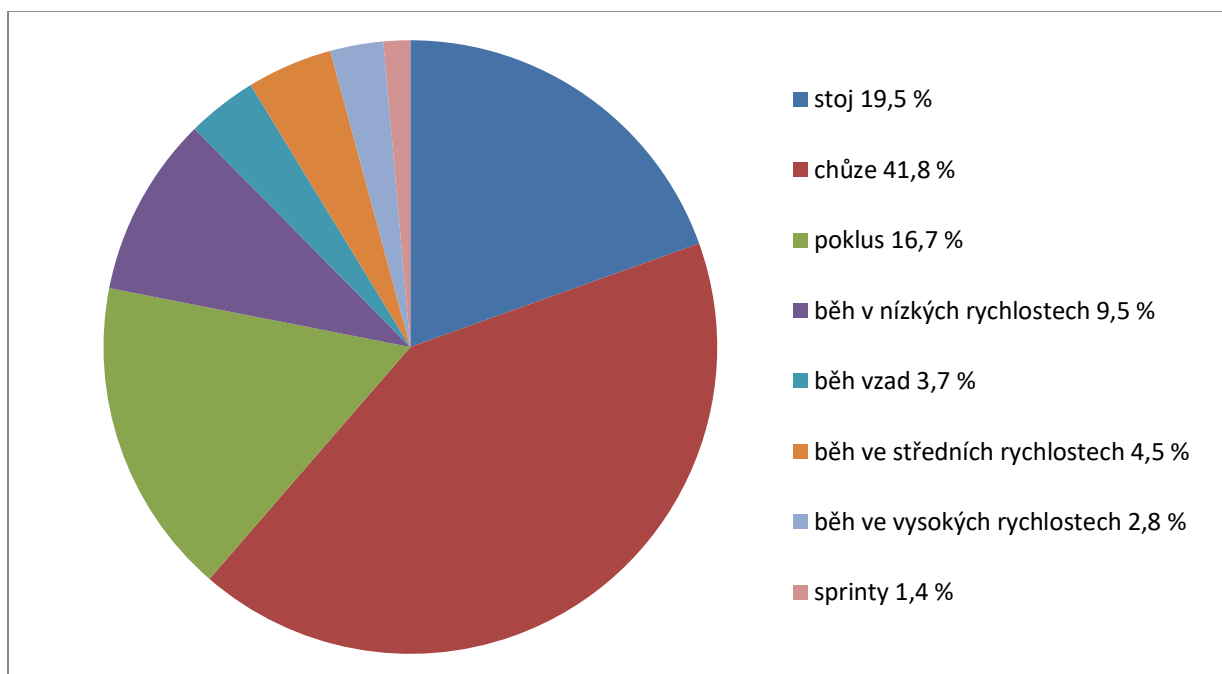
Obrázek 8. Příklad časového R-R intervalu mezi každým následujícím úderem měřeným po dobu 7 minut v klidu (~500 úderů) (Achten & Jeukendrup, 2003)

2.7 Charakteristika fotbalu

Fotbal je jedním z nejpopulárnějších sportů na světě a je charakteristický krátkými sprinty, zrychlením nebo zpomalením, otáčením, skákáním, kopáním a narážením (Arnason et al., 2004). Hra se odehrává ve dvou 45minutových poločasech proložených 15minutovým intervalem odpočinku (Slimani & Nikolaidis, 2019). V průběhu let se hra stala rychlejší, s intenzivnějším a agresivnějším hraním, než bylo vidět dříve (Arnason et al., 2004).

Typická vzdálenost, kterou během utkání urazí špičkový hráč v poli, je 10–13 km (Bangsbo, Mohr, & Krusturp, 2006), přičemž záložníci překonávají větší vzdálenosti než ostatní hráči v poli (Di Salvo et al., 2007) pravděpodobně kvůli jejich spojovací roli v týmu (Arnason et al., 2004). Většinu této vzdálenosti však pokrývá chůze a běh o nízké intenzitě. Naopak největší vzdálenost sprintem urazí útočníci (Bangsbo et al., 2006; Psotta, 2006). Během utkání hráči předvedou $17,3 \pm 7,7$ výbušných aktivit o vysoké intenzitě ($> 23 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$). Tyto výbušné aktivity s vysokou intenzitou jsou dlouhé $19,3 \pm 3,2 \text{ m}$ (Di Salvo et al., 2007).

Hráči provedou průměrně 40–60 změn směru běhu spojených s brzděním či zrychlením, 6–20 obranných soubojů, 5–20 výskoků, 0–6 zvednutí ze země po pádu. Mezi činnosti s míčem patří 30x vedení míče (překonaná vzdálenost 140–220 m), 20–46 přihrávek, 0–4x střelba a 4–17x hra hlavou (Psotta, 2006).



Obrázek 9. Model pohybové aktivity špičkových evropských hráčů - podíl jednotlivých typů lokomoce (Psotta, 2006)

2.7.1 Somatické parametry u fotbalistů

Složení těla, antropometrické rozměry a morfologické vlastnosti hrají zásadní roli při určování úspěchu fotbalisty. Přesné vyhodnocení těchto parametrů je nutné k identifikaci konkrétních charakteristik, které jsou nezbytné pro optimální fotbalový výkon, což může ovlivnit výběr hráče (Semjon et al., 2016). Obecně platí, že fotbalisté, kteří jsou vyšší, těžší, svalnatější, a mají více aktivní hmoty a méně tukové hmoty, mohou mít velké výhody, zejména během růstu a dospívání (Mala et al., 2020). Kromě toho existují antropometrické a kondiční předpoklady pro různé herní pozice ve fotbale. U fotbalových hráčů byly již dříve zjištěny významné rozdíly v různých antropometrických charakteristikách – zejména ve výšce a tělesné hmotnosti, tudíž tyto proměnné mohou naznačovat morfologickou optimalizaci ve fotbale (Carling & Orhant, 2010). Ukázalo se, že nejvyššími hráči v týmech jsou brankáři a/ nebo střední obránci (Arnason et al., 2004; Semjon et al., 2016), naopak jako nejnižší hráči se jeví krajní záložníci (Semjon et al., 2016). Studie týkající se fotbalových hráčů objevily významné rozdíly v antropometrických a kondičních hodnotách nejenom napříč herními pozicemi, ale také mezi různými úrovněmi hry (le Gall et al., 2010) a mezi věkovými kategoriemi. Mladší hráči v seniorských týmech mají nižší hodnotu procenta tělesného tuku (Botek et al., 2016).

Složení těla je hlavní složkou fyzické zdatnosti související se zdravím a sportem (Slimani & Nikolaidis, 2019). Vyšší nároky současného fotbalu jsou potvrzeny vývojovým trendem, a to snižováním množství tělesného tuku u hráčů ve prospěch relativního zvýšeného množství aktivní hmoty (Psotta, 2006). Průměrné hodnoty tělesného tuku uváděné ve vědecké literatuře se pohybují mezi 9,9 a 11,9 % u mužské elity a mezi 12,4 a 16,5 % u amatérských seniorských fotbalistů (Slimani & Nikolaidis, 2019). Zejména vyšší hodnoty procentuálního zastoupení tělesného tuku se nacházejí u brankářů než u ostatních hráčů v poli (Carling & Orhant, 2010).

Body mass index (BMI), počítaný jako hmotnost v kilogramech dělená výškou v metrech na druhou, se široce používá ke klasifikaci obezity dospělých (Ode, Pivarnik, Reeves, & Knous, 2007). Ve srovnání s jinými hodnotícími metodami využívajícími procento tělesného tuku je levné a snadno měřitelné. Jeho použití u sportovní populace je však zpochybňováno, protože je spojeno jak s tukovou, tak i tukuprostou hmotou. Například velmi svalnatý sportovec s nízkým tělesným tukem by mohl být klasifikován jako obézní (Nikolaidis, 2012). Je dokázáno, že vztah mezi BMI a tělesným tukem je ovlivněn pohlavím, věkem a sportem (Ode et al., 2007).

Nikolaidis & Karydis (2011) porovnávali mladé fotbalisty ve věku od 12 do 21 let rozdělených do devíti kategorií. Kontrolní skupina byla tvořena dospělými hráči staršími 21 let. Jejich výsledky ukázaly, že věk má pozitivní asociaci s množstvím tuku a tukuprosté hmoty, a negativní asociaci s procentuálním zastoupením tuku, což znamená, že starší hráči mají více jak množství tuku, tak tukuprosté hmoty, ale naopak procentuální zastoupení tuku je nižší. Ve srovnání s běžnou populací stejného věku vykazovali účastníci studie stejnou tělesnou hmotnost, vyšší vzrůst, nižší BMI a nižší procento tělesného tuku.

Tabulka 7. Antropometrická data (střední hodnoty se směrodatnou odchylkou v závorkách). Upraveno dle Nikolaidise & Karydise (2011)

Skupina	n	Věk (roky)	Hmotnost (kg)	Výška (m)	BMI (kg.m ⁻²)
U12	16	10 (1.62)	40.37 (9.81)	1.417 (.08)	19.98 (3.56)
U13	30	12.58 (.27)	48.46 (8.72)	1.564 (.091)	19.66 (2.09)
U14	38	13.52 (.26)	56.66 (7.92)	1.665 (.073)	20.38 (2.19)
U15	55	14.56 (.27)	61.17 (9.25)	1.7 (.079)	21.12 (2.49)
U16	53	15.47 (.28)	65.82 (8.86)	1.732 (.06)	21.92 (2.51)
U17	37	16.51 (.3)	70.78 (12.8)	1.758 (.064)	22.9 (4.12)
U18	36	17.43 (.28)	69.48 (10.32)	1.753 (.054)	22.55 (2.58)
U19	15	18.37 (.32)	70.58 (6.51)	1.76 (.066)	22.77 (1.62)
U20	18	19.56 (.31)	73.19 (6.15)	1.767 (.051)	23.43 (1.64)
U21	15	20.58 (.31)	75.21 (6.42)	1.779 (.072)	23.77 (1.57)
C	29	25.3 (3.07)	76.7 (6.75)	1.795 (.059)	23.77 (1.17)

Vysvětlivky: n – počet jedinců ve skupině, C – kontrolní skupina

Tabulka 8. Složení těla (střední hodnoty se směrodatnou odchylkou v závorkách). Upraveno dle Nikolaidise & Karydise (2011)

Skupina	Tuk (%)	Tuk (kg)	FFM (kg)
U12	18.57 (6.73)	7.99 (5.25) ^{U17}	32.38 (5.07) ^{U13-U21,C}
U13	16.61 (5.22)	8.27 (3.5) ^{U17,C}	40.19 (6.47) ^{U12, U14-U21,C}
U14	15.8 (3.57)	9.09 (2.87)	47.58 (6.03) ^{U12,U13,U16-U21,C}
U15	16.43 (4.18)	10.26 (3.74)	50.92 (6.67) ^{U12,U13,U16-U21,C}
U16	16.5 (3.94)	11.08 (3.98)	54.74 (5.95) ^{U12-U15,U17-U21,C}
U17	16.29 (4.32)	11.97 (5.57) ^{U12,U13}	58.81 (7.92) ^{U12-U16,U21,C}
U18	15.8 (3.51)	11.21 (4.13)	58.27 (6.94) ^{U12-U15,U21,C}
U19	14.75 (3.01)	10.42 (2.43)	60.16 (5.84) ^{U12-U16}
U20	15.24 (3.46)	11.31 (3.31)	61.89 (3.75) ^{U12-U16}
U21	14.45 (2.07)	10.9 (2)	64.31 (5.37) ^{U12-U18}
C	15.06 (2.96)	11.64 (2.95) ^{U13}	65.07 (5.13) ^{U12-U18}

Vysvětlivky: FFM – tukuprostá hmota, C – kontrolní skupina, věkové skupiny prezentované jako exponenty znamenají signifikantní odlišnost od dané skupiny

Přestože hlavním cílem studie Dellala & Wonga (2013) bylo porovnání výkonu ve schopnosti opakování sprintu a v opakované změně směru mezi elitními hráči z různých věkových kategorií francouzského fotbalového klubu, objevili autoři rozdíly i v antropometrických parametrech. Signifikantní rozdíly mezi skupinami byly prokázány v procentuálním zastoupení tuku, tělesné hmotnosti, výšce a BMI. V porovnání s ostatními skupinami hráči U15 měli vyšší procento tělesného tuku, nižší tělesnou hmotnost, nižší tělesnou výšku a nižší BMI.

Tabulka 9. Antropometrické parametry (střední hodnoty se směrodatnou odchylkou v závorkách) a rozdělení herních pozic (Dellal & Wong, 2013)

Kategorie	U15	U17	U19	Pro2
Tuk (%)	10,67 (1,54) ^{a c}	8,84 (0,85)	9,93 (1,65) ^c	7,87 (0,71)
Hmotnost (Kg)	53,40 (9,87) ^{a b c}	67,25 (4,70)	68,96 (6,38)	72,38 (4,27)
Výška (m)	1,67 (0,08) ^{a b c}	1,78 (0,06)	1,78 (0,07)	1,80 (0,04)
BMI (kg.m⁻²)	18,96 (2,09) ^{a b c}	21,23 (1,44)	21,70 (1,60)	22,34 (1,48)
Střední obránci	10,0 %	15,4 %	22,2 %	12,5 %
Obránci	50,0 %	7,7 %	16,7 %	12,5 %
Defenzivní záložníci	30,0 %	23,1 %	16,7 %	25,0 %
Krajní záložníci	10,0 %	30,8 %	22,2 %	25,0 %
Ofenzivní záložníci	0,0 %	0,0 %	11,1 %	12,5 %
Útočníci	0,0 %	23,1 %	11,1 %	12,5 %

Vysvětlivky: ^a – signifikantní odlišnost od U17, ^b – signifikantní odlišnost od U19, ^c – signifikantní odlišnost od Pro2

2.7.2 Fyziologické parametry u fotbalistů

Vzhledem k délce hry je fotbal závislý především na aerobním energetickém systému (Stølen, Chamari, Castagna, & Wisløff, 2005), také klade požadavky na anaerobní systém pro rychlostní vytrvalost, sílu, rychlost a výbušnost (Semjon et al., 2016). Ačkoli několik herních situací vyžaduje produkci energie prostřednictvím aerobního metabolismu, rozhodující akce pokrývá právě anaerobní metabolismus, včetně zrychlení, změny směru a opakovaných sprintů (Campa, Semprini, Júdice, Messina, & Toselli, 2019) z důvodu překročení anaerobního prahu (Helgerud, Rodas, Kemi, & Hoff, 2011).

Za inter-individuální variabilitu výkonu aerobní vytrvalosti jsou odpovědné tři hlavní faktory, a to maximální spotřeba kyslíku ($VO_2\text{max}$), anaerobní práh a ekonomika pohybu (Botek et al., 2016). Právě aerobní kapacita hráče pomáhá zotavit se mezi vyčerpávajícími energeticky náročnými sprinty a obdobími vysoké intenzity. Navíc aerobní kapacita a její klíčový faktor $VO_2\text{max}$ jsou stěžejní ve fotbale na nejvyšší úrovni a podporují rozsáhlý běh a pohyb požadovaný během utkání (Helgerud et al., 2011), během kterého hráči urazí 10–12 km (Stølen et al., 2005) o průměrné intenzitě 80–90 % maximální srdeční frekvence nebo blízké anaerobnímu prahu (Helgerud et al., 2011). Bylo by fyziologicky nemožné udržet vyšší průměrnou intenzitu po delší dobu kvůli výsledné akumulaci krevního laktátu (Stølen et al., 2005). $VO_2\text{max}$ je však méně citlivé na adaptace na trénink ve srovnání s anaerobním prahem. Proto u jedinců s podobnými hodnotami $VO_2\text{max}$ se vytrvalostní výkon může výrazně lišit s rozdílem, který pravděpodobně souvisí s lepší anaerobní kapacitou nebo ekonomikou pohybu (Botek et al., 2016). Zvýšení $VO_2\text{max}$ zvyšuje uraženou vzdálenost během utkání a je taky spojeno se zvýšením počtu provedených sprintů (Helgerud et al., 2011).

Hodnoty $VO_2\text{max}$ u profesionálních fotbalových hráčů, kteří hrají Ligu mistrů, se pohybují mezi 60–65 ml. $\text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (Semjon et al., 2016). U fotbalistů na nižší úrovni se tyto hodnoty pohybují mezi 57,8–61,7 ml. $\text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Dále se ukázalo, že hráči z pole mají vyšší hodnoty $VO_2\text{max}$ než brankář (Slimani & Nikolaidis, 2019). Je dobře zdokumentováno, že biologická funkce a fyzická výkonnost dosáhnou svého vrcholu ve věku 30 let. Poté dochází k přirozenému poklesu $VO_2\text{max}$ přibližně o 10 % za 10 let v důsledku snížení maximální srdeční frekvence a úbytku svalové hmoty. Na druhou stranu je dokázáno, že snížení hodnot $VO_2\text{max}$ se stárnutím u dobře vytrvalostně trénovaných sportovců do 50 let není tak markantní (Botek et al., 2016).

Wong, Chamari, Dellal & Wisloff (2009) uvádějí, že intenzita hry s věkem klesá a úroveň utkání je indikována překonanou vzdáleností (profesionální senioři: ~ 11 km, U18: ~ 9

km, U12: ~ 6,2 km), srdeční frekvenci (profesionální senioři: 93% SFmax, U18: 82% SFmax) a koncentrací laktátu v krvi (profesionální senior: 10 mmol. l⁻¹, U12: 5 mmol. l⁻¹).

V Itálii bylo pozorováno 17 mladých amatérských fotbalistů ve věku od 16 do 17 let, kteří se zúčastnili regionálního šampionátu do 17 let. Průměrná hodnota VO₂max byla 50,9 ± 2,53 ml.kg⁻¹.min⁻¹. Po 12týdenním intermitentním tréninku se tato hodnota zvýšila na 55,64 ± 3,65 ml.kg⁻¹.min⁻¹ (Calandro, Esposito & Altavilla, 2020). Impellizzeri et al. (2006) porovnávali efekt 8týdenního specifického (hry malých forem) a běžného (běhání) aerobního intervalového tréninku na fyzickou kondici u hráčů dvou juniorských fotbalových klubů. Věk hráčů byl 17,2 ± 0,8 let. U skupiny podstupující běžecký trénink byly hodnoty VO₂max před intervencí 55,6 ± 3,4 ml.kg⁻¹.min⁻¹ a po intervenci 60,2 ± 3,9 ml.kg⁻¹.min⁻¹. U skupiny, která podstupovala hry malých forem, byly hodnoty před intervencí 57,7 ± 4,2 ml.kg⁻¹.min⁻¹ a po intervenci 61,8 ± 4,5 ml.kg⁻¹.min⁻¹. Efekt vybraných metod byl bez rozdílu. Ovšem byly nalezeny signifikantní korelace mezi VO₂max a celkovou vzdáleností uběhnutou během utkání a také časem stráveným aktivitami o vysoké intenzitě. Také došlo u obou skupin ke zvýšení hladiny anaerobního prahu, přibližně z 81 % na 84,5 % VO₂max.

Pozitivní změny ve VO₂max byly objeveny také u hráčů ve věku od 13 do 15 let, kdy během 2 let došlo ke zvýšení hodnot o 5,72 %. Kromě toho došlo i ke zlepšení ve výbušné síle (CMJ – vertikální skok), přičemž po první sezóně došlo ke zlepšení o 2,49 % a ve druhé ještě o 4,87 % (Di Giminiani & Visca, 2017).

Buchheit, Simpson, Al Haddad, Bourdon & Mendez-Villanueva (2012) zkoumali, zda lze měření srdeční frekvence odvozená od submaximálního běžeckého testu použít k predikci změn sledovaného fyzického výkonu během sezóny u mladých vysoce trénovaných fotbalistů. Studie se zúčastnilo 92 hráčů (věk 15,0 ± 1,4 let), kteří byli rozděleni do 6 věkových skupin od U13 do U18. Bylo zjištěno, že: (1) pokles SF během cvičení u hráče a/ nebo zvýšení VSF, ale ne obnovy srdeční frekvence, bylo spojeno s přinejmenším velmi pravděpodobným zlepšením v běžecském testu, (2) čím vyspělejší hráč byl, tím menší byla změna v srdeční frekvenci během cvičení, (3) submaximální SF během cvičení, obnova srdeční frekvence a VSF na začátku sezóny středně až silně korelovaly se změnami ve většině výkonnostních proměnných během celé sezóny, (4) byly nalezeny střední vztahy mezi individuálními změnami v obnově srdeční frekvence a výkonu sprintu a opakovaného sprintu a konečně (5) změny v charakteristikách SF ve skutečnosti nepředvíдалy snižování fyzického výkonu. Pokles srdeční frekvence během cvičení, zvýšení obnovy srdeční frekvence a indexů VSF spojených s aktivitou vagu jsou obecně spojeny se zlepšenou kardiorespirační zdatností a

fyzickým výkonem, opačné změny v těchto charakteristikách jsou obvykle spojovány s chronickou únavou a/ nebo zhoršenou fyzickou výkonností.

Mujika, Santisteban, Impellizzeri & Castagna (2009) porovnávali elitní španělské hráče mužského i ženského pohlaví ve věku od $17 \pm 1,6$ do $24 \pm 3,4$ let, které rozdělily do 4 skupin. Sportovci podstoupili testování specifické vytrvalosti (Yo-YoIR1), sprintu, vertikálního skoku, agility a vedení míče. Výkony specifické vytrvalosti a agility ukázaly rozdíly jak mezi pohlavím, tak mezi věkovými skupinami. Seniorští a juniorští fotbalisté překonaly o 97 a 153 % větší vzdálenost během vytrvalostního testu než seniorské a juniorské hráčky. Vliv pohlaví byl prokázán také u sprintu. Mezi seniorskými a juniorskými hráči nebyly nalezeny žádné rozdíly u vertikálního skoku a vedení míče. Výsledky ukázaly především velké rozdíly v kondici podle pohlaví u dané soutěžní úrovně.

Tabulka 10. Antropometrické charakteristiky fotbalistů. Upraveno dle Mujiky et al. (2009)

	Muži	Junioři	Ženy	Juniorčky
Věk (roky)	$23,8 \pm 3,4$	$18,4 \pm 0,9^{a,c}$	$23,1 \pm 2,9^d$	$17,3 \pm 1,6^c$
Výška (m)	$1,82 \pm 0,04$	$1,78 \pm 0,05^c$	$1,65 \pm 0,04^b$	$1,64 \pm 0,05^b$
Hmotnost (kg)	$77,0 \pm 5,7$	$72,0 \pm 4,6$	$56,8 \pm 5,7^b$	$57,5 \pm 7,6^b$

Vysvětlivky: ^a – signifikantní odlišnost od mužů, ^b – signifikantní odlišnost od juniorů, ^c – signifikantní odlišnost od žen, ^d – signifikantní odlišnost od juniorek, $P < 0,001$

Tabulka 11. Kondiční charakteristiky fotbalistů. Upraveno dle Mujiky et al. (2009)

	Muži	Junioři	Ženy	Juniorčky
Yo-YoIR1 (m)	2414 ± 456	$2092 \pm 260^{a*}$	$1224 \pm 255^{a,b,d}$ ***	$826 \pm 160^{a,b}$ ***
CMJ (cm)	$43,7 \pm 2,2^{c,d}$ ***	$43,9 \pm 4,8^{c,d}$ ***	$32,6 \pm 3,7^{a,b}$ ***	$28,41 \pm 1,99^{c}$ **
ACMJ (cm)	$50,1 \pm 4,2^{c,d}$ ***	$51,8 \pm 4,8^{c,d}$ ***	$38,0 \pm 4,8$	$33,1 \pm 2,7^{c}$ **
Sprint-15 m (m.s⁻¹)	$7,16 \pm 0,21^{c,d}$ ***	$7,17 \pm 0,22^{c,d}$ ***	$6,30 \pm 0,24$	$6,17 \pm 0,17$
Agility-15 m (m.s⁻¹)	$5,14 \pm 0,25^{c,d}$ ***	$4,89 \pm 0,14^{b,**,c,d}$ ***	$4,55 \pm 0,25^d$ ***	$4,22 \pm 0,21$
Míč-15 m (m.s⁻¹)	$3,82 \pm 0,22^{c,d}$ ***	$3,79 \pm 0,32^{c,d}$ ***	$3,41 \pm 0,32$	$3,04 \pm 0,21^{c}$ **

Vysvětlivky: CMJ – vertikální skok bez švihů paží, ACMJ – vertikální skok se švihem paží, ^a – signifikantní odlišnost od mužů, ^b – signifikantní odlišnost od juniorů, ^c – signifikantní odlišnost od žen, ^d – signifikantní odlišnost od juniorek, * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

2.8 Věkové zvláštnosti mládeže

Dorostový věk je posledním vývojovým stadiem mezi dětstvím a dospělostí (Dovalil, 2012). U dorostenců je somatický vývoj charakteristický zřetelným snížením tempa růstu (výška, hmotnost), intenzivním a plynulým dozráváním, vytvářením určitého somatotypu, vymizením anatomických disproporcí, výrazným nárůstem svalové hmoty, zmohtnutím vnitřních orgánů, plným rozvojem a výkonností srdce, plic a svalů a vnitřní diferenciací mozku. U pohybové výkonnosti většinou vymizela disharmonie motoriky, nejrychleji se rozvíjejí silové schopnosti (anaerobní výkony), dochází ke zlepšení aerobních výkonů (využitelnost kyslíku), vyšší odolnosti vůči laktátu a k vyšší mobilizaci volního úsilí. Pohyby nabývají typický individuální charakter. Jedná se o období vrcholných výkonů a plné stimulace všech pohybových schopností. Může případně docházet k negativnímu jevu při nárůstu svalové hmoty – snížení pohyblivosti v kloubech. Motorická docilita se zlepšuje i díky účinnější koncentraci pozornosti, motivaci, cílevědomému přístupu k učení i zvýšení mentální kapacity. Jedinci mají schopnost osvojit si i koordinačně velmi náročné pohybové dovednosti, jedná se o vrchol v motorickém vývoji jedince. Z pohledu na psychický vývoj se jedná o plný rozvoj abstraktního a logického myšlení, intrapsychické a mezioblastní konflikty (rozpor mezi fyzickou a sociální dospělostí). Dokončuje se stratifikace hodnotového systému, interiorizace sociálních norem a postojů, dotváří se individuální osobnost, dokončení a stabilizace osobních vlastností, ustálení zájmů a potřeb, dochází k vyšší emoční stabilitě a odpovědnosti, hledání specifického uplatnění, usilování o vlastní názor, rozlišování hlavních a vedlejších věcí. Objevuje se také revolta vůči autoritám a snaha po sociální nezávislosti (Dovalil, 2012; Fajrer, 2009).

Jsou známé průměrné hodnoty výšky a BMI fotbalových reprezentačních hráčů prvních tří družstev z MS do 20 let a MS do 17 let z roku 2005 a 2007. MS „20“ 2005: Argentina – tělesná výška 177,7 cm, BMI 23,0 kg.m⁻²; Nigerie – tělesná výška 177,4 cm, BMI 22,8 kg.m⁻²; Brazílie – tělesná výška 181,3 cm, BMI 23,0 kg.m⁻². MS „20“ 2007: Argentina – tělesná výška 176,8 cm; Česká republika – tělesná výška 184,1 cm; Chile – tělesná výška 176,9 cm; MS „17“ 2005: Mexiko – tělesná výška 175,9 cm, BMI 22,8 kg.m⁻²; Brazílie – tělesná výška 181,3 cm, BMI 22,9 kg.m⁻²; Nizozemsko – tělesná výška 178,2 cm, BMI 22,8 kg.m⁻²; MS „17“ 2007: Nigérie – tělesná výška 173,3 cm; Španělsko – tělesná výška 178,3 cm; Německo – tělesná výška 180,5 cm (Fajrer, 2009).

Adolescence je považována za klíčovou vývojovou fází v průběhu kariéry talentovaných fotbalistů (Feichtinger & Höner, 2015). Psychologické charakteristiky jako autoregulace, odolnost, odhodlání a disciplína se jeví jako nejvlivnější na rozvoj hráče, a to

buď prostřednictvím jejich schopnosti rozlišovat mezi elitními hráči a hráči nižší úrovně, jejich korelací se zapojením do fotbalového tréninku, hry a s chováním v životě, a/ nebo prostřednictvím relativní důležitosti, kterou jim přiřkládají trenéři. Mnoho zúčastněných včetně trenérů, rodičů, vrstevníků a sourozenců hraje roli v pomáhání hráčům rozvíjet tyto vlastnosti prostřednictvím poskytování hmatatelné, emoční a informační podpory nebo prostřednictvím vytváření vzdělávacího prostředí podpořeného funkčně relevantními výzvami (Gledhill, Harwood & Forsdyke, 2017).

3 Cíle

3.1 Hlavní cíl

Hlavním cílem práce je zjistit vliv věku na vybrané kondiční složky výkonu u profesionálních dorosteneckých fotbalistů.

3.2 Dílčí cíle

Dílčím cílem práce je porovnat aktivitu autonomního nervového systému u jednotlivých kategorií.

Dalším dílčím cílem je porovnat hodnoty vybraných somatických a fyziologických parametrů u jednotlivých kategorií.

3.3 Výzkumné otázky

Jaké je procentuální zastoupení tělesného tuku u dorosteneckých kategorií?

Jaké je množství tukuprosté hmoty u dorosteneckých kategorií?

Je rozdíl v hodnotách $VO_2\text{max}$ mezi dorosteneckými kategoriemi?

Je rozdíl v podání maximálního výkonu mezi dorosteneckými kategoriemi?

Existují rozdíly v aktivitě ANS mezi dorosteneckými kategoriemi?

4 Metodika

4.1 Charakteristika souboru

Výzkumný soubor tvořilo 43 hráčů z dorosteneckých kategorií prvoligového fotbalového klubu České republiky, z nichž 21 bylo ve věku 16 let (U16), 13 ve věku 17 let (U17) a 9 ve věku 18 let (U18). Všichni probandi byli bez zjevných zdravotních problémů a před zahájením měření poskytli svůj písemný souhlas s testováním.

4.2 Metodika sběru dat

Výzkum se uskutečnil v roce 2019. Měření vybraných parametrů u sportovců proběhlo v Centru kinantropologického výzkumu Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého. Všichni probandi se zúčastnili měření antropometrických parametrů i veškerého testování funkčních a fyziologických parametrů.

4.2.1 Měření antropometrických parametrů

Tělesná výška a hmotnost participantů byly změřeny pomocí přístroje SOEHNLE 7307 (Leifheit, Německo). Složení těla bylo zjištěno pomocí metody bioelektrické impedance, která funguje na základě vodivosti elektrického proudu, přičemž jednotlivé složky těla mají odlišnou vodivost. Např. svaly s vysokým obsahem vody mají dobrou vodivost, naopak tuk se chová spíše jako izolant. Mezi výhody této metody patří jednoduchost, rychlost a bezpečnost. Nevýhodou je, že její aplikace není vhodná pro některé skupiny osob, jako jsou starší lidé, děti, vysoce obézní, a také vrcholoví sportovci. Pro tuto metodu byl použit přístroj Tanita BC-418 MA (Tanita, Japonsko), který disponuje 8 snímacími katodami, z nichž 4 jsou umístěny na spodní platformě a další 4 snímače jsou integrované v ručních madlech. Pro přesnější výsledky by se měla dodržovat následující doporučení (Riegerová, Přidalová & Ulbrichová, 2006):

- Před měřením nejíst po dobu 4-5 hodin,
- necvičit po dobu 12 hodin,
- nepožívat alkohol po dobu 24 hodin,
- vyprázdnit močový měchýř a organismus zavodnit neslazenou vodou,
- důležitá je i běžná teplota místnosti

4.2.2 Měření funkčních a fyziologických parametrů

Každý hráč podstoupil maximální běžecký test na běžícím pásu (Lode Valiant, Groningen, Nizozemsko) k získání hodnot VO_{2max} a SF_{max} . Protokol cvičení začal 4-minutovým zahřátím (2 minuty při rychlosti 8 km. h⁻¹ s 0 % sklonem a další 2 minuty se stejnou rychlostí a 5 % sklonem). Poté byla rychlost zvýšena na 10 km. h⁻¹ na dobu 1 minuty s u udržovaným 5 % sklonem. Každou minutu došlo ke zvýšení rychlosti o 1 km. h⁻¹ se sklonem 5 % až do rychlosti 16 km. h⁻¹. Od této fáze se každou minutu zvyšoval pouze sklon o 2,5 % až do vyčerpání. Během cvičení byla průběžně analyzována ventilace dýchání a výměna plynů (Ergostik, Geratherm Respiratory, Bad Kissingen, Německo) s daty v průměru 30 s pro analýzu. Analyzátory plynu a průtoku byly před každým testováním a po něm kalibrovány pomocí plynů o známé koncentraci a 3-litrové kalibrační stříkačky. Během testu byla teplota prostředí udržována klimatizačním systémem od 20 do 24 °C a relativní vlhkost 40-60 %. Odezva SF (Polar, Kempele, Finsko) byla během testu průběžně sledována. Před samotným měřením byly probandům sděleny doporučené zásady:

- proband by neměl absolvovat náročný trénink alespoň 24 hodin před testováním,
- požit alkohol či cigaretu alespoň 12 hodin před testováním,
- jíst alespoň 2 hodiny před testováním,
- proband by měl být dostatečně odpočatý,
- mít vhodnou obuv i oděv

Maximální výkon (P_{max}) byl stanoven nepřímo podle následujícího vzorce:

$P = (0.2 s + 0.9 sg + 3.5) / 10.5$, kde P je relativní výkon ($W \cdot kg^{-1}$), s je rychlost ($m \cdot min^{-1}$) a g je dílčí stupeň (bezrozměrná jednotka) (Botek et al., 2016).

Sledování aktivity autonomního nervového systému

Monitorování autonomní srdeční aktivity bylo prováděno mezi 8:00 a 10:00 v laboratoři, kde se okolní teplota pohybovala od 22 do 24 °C. Testování VSF v dopoledních hodinách se řídilo doporučením Malika a Camma (1995), kteří zdůraznili význam zohlednění cirkadiálních oscilací ve VSF. Během měření byl každý hráč chráněn před akustickými a vizuálními ruchy. Pro stanovení klidových proměnných SF a VSF byl měřen signál EKG při snímací frekvenci 1000 Hz pomocí VarCOR PF7 (DIMEA Group, Olomouc, Česká republika). Snímání EKG bylo provedeno během ortoklinostatického manévru (leh-stoj-leh).

První fáze v lehu trvala 30 s, fáze ve stoji 5 min a druhá fáze v lehu také 5 min (Botek, Krejčí, Neuls & Novotný, 2013). Z měření VSF se načítaly také hodnoty SFstoj a SFleh. Byl zkoumán záznam EKG a všechny předčasné komorové kontrakce, chybějící údery a jakékoli artefakty byly ručně filtrovány. Z každé fáze byla získána sada 300 R-R intervalů bez artefaktů. Spektrální analýza VSF byla použita k posouzení autonomní srdeční aktivity a křivka spektrální výkonové hustoty shromážděných signálů byla odhadnuta pomocí metody rychlé Fourierovy transformace s částečně upraveným algoritmem (Yamamoto & Hughson, 1991). Analyzován byl komplexní index vagové aktivity, který se vypočítává především z vysokofrekvenční (0,15 až 0,50 Hz) komponenty HF ve stoji a v lehu. Komplexní index vagové aktivity je vyjádřen v bodech. Fyziologický rozsah je mezi -2,5 a 2,5 bodu (Stejskal, Šlachta, Elfmark, Salinger & Gaul-Aláčová, 2002).

Vertikální skok

Participanti po rozcvičce (protážení dolních končetin po dobu 1 minuty a provedení 1 submaximálního vertikálního skoku (CMJ – countermovement jump) provedli 3 vertikální skoky s maximálním úsilím. Mezi každým CMJ byla poskytnuta doba odpočinku 30 s. Výchozí pozice pro CMJ byla vzpřímená poloha s pažemi podél těla. Participanti zahájili CMJ snížením těla a švihnutím paží dozadu a poté vyskočili tak vysoko, jak je to jen možné, zatímco švihli pažemi dolů, dopředu a nahoru. Vertikální síla reakce země byla měřena na dvou paralelních silových platformách (AMTI OR6-7-1000, Advanced Mechanical Technology, Watertown, MA, USA) se snímací frekvencí 200 Hz. Před zahájením každého CMJ byla zaznamenána doba klidného stání v délce 2 sekund, aby se zajistila nulová počáteční rychlost a vypočítala se tělesná hmotnost. Výška skoku byla vypočtena ze silově-časové křivky, kterou popsali Vaverka et al. (2013). Za výsledek byla považována maximální výška skoku ze tří opakování CMJ.

4.3 Statistické zpracování dat

Naměřená data byla zpracována s použitím programu Microsoft Office Excel. V programu byly využity základní funkce jako je průměr a směrodatná odchylka. Analýza dat byla provedena pomocí analytického nástroje Anova. Statistická významnost mezi skupinami byla ověřena pomocí t-testu jako posthoc analýza. Za statisticky významné hodnoty jsou považovány pro $p < 0,05$.

5 Výsledky

5.1 Základní antropometrické parametry

Všech 43 participantů se zúčastnilo měření somatických faktorů, z čehož jsou známé hodnoty výšky, hmotnosti, BMI, procenta tělesného tuku a množství tukuprosté hmoty. Průměrná výška u skupiny U16 je $178,6 \pm 8,5$ cm, u skupiny U17 je $176,1 \pm 6,5$ cm a u skupiny U18 činí $177,8 \pm 5,9$ cm. Průměrná hmotnost u skupiny U16 činí $67,2 \pm 8,8$ kg, u skupiny U17 je $71,9 \pm 7,6$ kg a u skupiny U18 je $73,1 \pm 5,3$ kg. Průměrná hodnota BMI u skupiny U16 činí $21,0 \pm 1,6$ kg.m⁻², u skupiny U17 je $23,0 \pm 1,5$ kg.m⁻², u skupiny U18 je $23,2 \pm 1,9$ kg.m⁻². Množství tělesného tuku u skupiny U16 je $12,7 \pm 1,4$ %, u skupiny U17 je $10,2 \pm 2,4$ % a u skupiny U18 činí tato hodnota $10,5 \pm 3,2$ %. Průměrné množství tukuprosté hmoty u skupiny U16 je $58,6 \pm 7,3$ kg, u skupiny U17 činí $64,4 \pm 5,9$ kg a u skupiny U18 činí $65,3 \pm 3,8$ kg. Statisticky významné rozdíly se ukázaly u BMI, procentuálního zastoupení tělesného tuku a množství tukuprosté hmoty.

Tabulka 12. Porovnání somatických parametrů mezi skupinami

	U16 (n=21)	U17 (n=13)	U18 (n=9)	p
Výška (cm)	$178,6 \pm 8,5$	$176,1 \pm 6,5$	$177,8 \pm 5,9$	0,647
Hmotnost (kg)	$67,2 \pm 8,8$	$71,9 \pm 7,6$	$73,1 \pm 5,3^*$	0,116
BMI (kg.m⁻²)	$21,0 \pm 1,6$	$23,0 \pm 1,5^*$	$23,2 \pm 1,9^*$	0,001

Vysvětlivky: *označuje signifikantní odlišnost od U 16 ($p < 0,05$), p – statistická významnost

Tabulka 13. Porovnání parametrů složení těla

	U16 (n=21)	U17 (n=13)	U18 (n=9)	p
Tuk (%)	$12,7 \pm 1,4$	$10,2 \pm 2,4^*$	$10,5 \pm 3,2$	0,008
FFM (kg)	$58,6 \pm 7,3$	$64,4 \pm 5,9^*$	$65,3 \pm 3,8^*$	0,012

Vysvětlivky: *označuje signifikantní odlišnost od U 16 ($p < 0,05$), p – statistická významnost

5.2 Fyziologické parametry

Všichni probandi se zúčastnili také funkčního vyšetření, z něhož známe hodnoty VO₂max, Pmax, klidové SF v lehu (SFleh) a ve stoje (SFstoj), variability srdeční frekvence a vertikálního skoku. Průměrná hodnota VO₂max u skupiny U16 je $55,4 \pm 3,8$ ml.kg⁻¹.min⁻¹, u skupiny U17 činí $56,1 \pm 2,7$ ml.kg⁻¹.min⁻¹ a u skupiny U18 je tato hodnota rovna $54,0 \pm 3,5$ ml.kg⁻¹.min⁻¹. Průměrná hodnota Pmax u skupiny U16 je $6,0 \pm 0,4$ W.kg⁻¹, u skupiny U17 je $6,0 \pm 0,4$ W.kg⁻¹ a u skupiny U18 činí $5,9 \pm 0,4$ W.kg⁻¹. Průměrné hodnoty indexu vagové aktivity jsou $0,045 \pm 1,4$ u skupiny U16, $-0,337 \pm 1,8$ u skupiny U17 a $-1,309 \pm 1,7$ u skupiny

U18. Průměrná hodnota SFleh u skupiny U16 je $63 \pm 9,6$ tepů za minutu, u skupiny U17 je $59,8 \pm 10,9$ tepů za minutu a u skupiny U18 je $63,9 \pm 8,6$ tepů za minutu. Průměrná hodnota SFstoj u skupiny U16 je $92,7 \pm 10,2$ tepů za minutu, u skupiny U17 je $86,6 \pm 12,9$ tepů za minutu a u skupiny U18 činí $89,3 \pm 13,2$ tepů za minutu. Průměrnou hodnotu vertikálního skoku činí $43,4 \pm 3,7$ cm u skupiny U16, $44,2 \pm 2,4$ cm u skupiny U17 a $45,1 \pm 4,6$ cm u skupiny U18. Výsledky měření fyziologických parametrů neukázaly žádné statisticky významné rozdíly mezi skupinami.

Tabulka 14. Porovnání funkčních parametrů mezi skupinami

	U16 (n=21)	U17 (n=13)	U18 (n=9)	<i>p</i>
VO₂max (ml.kg⁻¹.min⁻¹)	$55,4 \pm 3,8$	$56,1 \pm 2,7$	$54,0 \pm 3,5$	0,400
Pmax (W.kg⁻¹)	$6,0 \pm 0,4$	$6,0 \pm 0,4$	$5,9 \pm 0,4$	0,896
Vertikální skok (cm)	$43,4 \pm 3,7$	$44,2 \pm 2,4$	$45,1 \pm 4,6$	0,490

Vysvětlivky: VO₂max – maximální spotřeba kyslíku, Pmax – maximální výkon, *p* – statistická významnost

Tabulka 15. Porovnání klidové srdeční frekvence a adaptability mezi skupinami

	U16 (n=21)	U17 (n=13)	U18 (n=9)	<i>p</i>
SFleh (tep.min⁻¹)	$63 \pm 9,6$	$59,8 \pm 10,9$	$63,9 \pm 8,6$	0,562
SFstoj (tep.min⁻¹)	$92,7 \pm 10,2$	$86,6 \pm 12,9$	$89,3 \pm 13,2$	0,364
Index VA	$0,045 \pm 1,4$	$-0,337 \pm 1,8$	$-1,309 \pm 1,7$	0,135

Vysvětlivky: SFleh – klidová srdeční frekvence v lehu, SFstoj – klidová srdeční frekvence ve stoji, index VA – komplexní index vagové aktivity vyjádřený v bodech, *p* – statistická významnost

6 Diskuse

Z výsledků měření této práce se ukázalo, že rozdíly mezi vybranými dorosteneckými kategoriemi jsou pouze u somatických parametrů, konkrétně u BMI, procentuálního zastoupení tělesného tuku a množství tukuprosté hmoty. Signifikantní odlišnost byla nalezena také u hmotnosti mezi kategoriemi U16 a U18. Z výsledků je patrné, že starší kategorie mají vyšší BMI, a naopak nižší procento tělesného tuku, z čehož vyplývá, že musí mít více aktivní hmoty. Během období adolescence tedy přibývá svalové hmoty. Tento nárůst dle studie Botka et al. (2016) může pokračovat i u seniorských fotbalistů. Ve studii porovnávali 4 skupiny fotbalistů ve věku 18.6 ± 0.8 (17–19,9 let), 22.5 ± 1.2 (20–24,9 let), 26.7 ± 1.4 (25–29,9 let) a 33.3 ± 2.8 (30–39 let). Jejich výsledky ukazují nárůst nejen tukuprosté hmoty, ale i celkové hmotnosti, procentuálního zastoupení tuku a BMI, což spolu úzce souvisí.

Jak již bylo zmíněno, průměrná výška a hmotnost probandů v kategorii U16 je $178,6 \pm 8,5$ cm a $67,2 \pm 8,8$ kg, v kategorii U17 je $176,1 \pm 6,5$ cm a $71,9 \pm 7,6$ kg a v kategorii U18 je $177,8 \pm 5,9$ cm a $73,1 \pm 5,3$ kg. Bujnovsky et al. (2019) zmiňuje podobné hodnoty u 123 českých vrcholových hráčů fotbalu ve věku $15,7 \pm 0,5$ let, konkrétně $178,5 \pm 6,8$ cm a $68,2 \pm 8,4$ kg. Le Gall et al. (2010) ve své studii porovnávají kategorie fotbalových hráčů U14, U15 a U16 na amatérské, profesionální a mezinárodní úrovni ve Francii. Fotbalisté kategorie U16 na mezinárodní úrovni mají výšku $176,1 \pm 7,5$ cm, na profesionální úrovni $175,3 \pm 8,2$ cm a na amatérské úrovni $169,1 \pm 8,2$ cm, přičemž signifikantní rozdíl je mezi hráči mezinárodní úrovně a amatéry. Průměrná hmotnost kategorie U16 je u mezinárodních hráčů $65,3 \pm 8,8$ kg, u profesionálů $66,0 \pm 8,2$ kg a u amatérů $58,8 \pm 9,2$ kg.

Skupina odborníků z belgické univerzity porovnávala mladé fotbalisty ze 2 profesionálních belgických klubů. Jejich naměřené hodnoty u kategorie U 17 jsou následující: výška $174,4 \pm 6,7$ cm a hmotnost $62,7 \pm 7,8$ kg. Pro porovnání výška a hmotnost u kategorie U15 byla $162,5 \pm 8,8$ cm a $49,3 \pm 9,1$ kg a u kategorie U19 $177,8 \pm 6,4$ cm a $69,6 \pm 7,8$ kg. Kromě rozdílů mezi věkovými kategoriemi zjistili i rozdíly mezi pozicemi, konkrétně, že ve všech věkových kategoriích byly nejvyššími a nejtěžšími hráči brankáři a obránci v porovnání se záložníky a útočníky, kteří byli menší a hubenější (Deprez et al., 2015). Buchheit, Mendez-Villanueva, Simpson & Bourdon (2010) porovnávali fotbalové kategorie U13 – U18. Mezi kategoriemi U16, U17 a U18 nebyl nalezen signifikantní rozdíl v somatických parametrech. Průměrná výška byla 163 ± 9 cm u kategorie U16, 170 ± 7 cm u kategorie U17 a 171 ± 9 cm u kategorie U18 a hmotnost $52 \pm 7,2$ kg u kategorie U16, $58,1 \pm 4,7$ kg u kategorie U17 a $56,3 \pm 7,5$ kg u kategorie U18.

Z výsledků práce je patrné, že u hráčů nedochází k nárůstu pouze celkové hmotnosti, ale také tukuprosté hmoty. Průměrné množství tukuprosté hmoty u kategorie U16 je $58,6 \pm 7,3$ kg, u kategorie U17 činí $64,4 \pm 5,9$ kg a u kategorie U18 činí $65,3 \pm 3,8$ kg. Kategorie U16 disponuje signifikantně nižšími hodnotami. Ke stejnému závěru dospěli i Nikolaidis & Karydis (2011), v jejichž studii je průměrné množství tukuprosté hmoty u jednotlivých kategoriích následující: $54,74 \pm 5,95$ kg u kategorie U16, $58,81 \pm 7,92$ kg u kategorie U17 a $58,27 \pm 6,94$ kg u kategorie U18. V další studii Nikolaidis (2014) zaznamenal množství tukuprosté hmoty $52,8 \pm 6,3$ kg u hráčů kategorie U16, $56,9 \pm 4,3$ kg u kategorie U18 a $62,1 \pm 5,0$ kg u dospělých hráčů ve věku $21,7 \pm 3,4$ let.

Dalším faktorem týkajícím se složení těla, který je v této práci porovnáván, je procentuální zastoupení tělesného tuku. Výsledky ukázaly, že množství tělesného tuku u kategorie U16 je $12,7 \pm 1,4$ %, u kategorie U17 je $10,2 \pm 2,4$ % a u kategorie U18 činí tato hodnota $10,5 \pm 3,2$ %. Ve studii Le Galla et al. (2010) je množství tuku u kategorie U16 u hráčů mezinárodní úrovně $11,3 \pm 1,5$ %, u profesionálů $12,6 \pm 2,3$ % a u amatérů $12,6 \pm 2,5$ %. Nikolaidis & Karydis (2011) ve výsledcích uvádějí, že průměrná hodnota procentuálního zastoupení tělesného tuku je u kategorie U16 $16,5 \pm 3,94$ %, u kategorie U17 $16,29 \pm 4,32$ % a u kategorie U18 $15,8 \pm 3,51$ %. Jejich výsledky ukazují, že od kategorie U12 do kategorie U21 procentuální zastoupení tělesného tuku klesá, avšak celkové množství tukové hmoty roste, a to především do kategorie U15. Nicméně markantnější je nárůst tukuprosté hmoty, což vede k úbytku procenta tělesného tuku. Dellal & Wong (2013) naměřili u kategorie U15 $10,67 \pm 1,54$ %, u kategorie U17 $8,84 \pm 0,85$ %, u kategorie U19 $9,93 \pm 1,65$ % a u kategorie Pro2 $7,87 \pm 0,71$ % tělesného tuku. Z výsledků jednotlivých studií plyne, že množství tělesného tuku je ovlivněno nejen věkem, ale i úrovní hráčů.

Poslední antropometrickou veličinou, kterou se práce zabývá je BMI, jehož průměrná hodnota u kategorie U16 činí $21,0 \pm 1,6$ kg.m⁻², u kategorie U17 je $23,0 \pm 1,5$ kg.m⁻² a u kategorie U18 je $23,2 \pm 1,9$ kg.m⁻², z čehož plyne, že signifikantně vyšší hodnoty jsou u kategoriích U17 a U18. Nikolaidis & Karydis (2011) ukázali, že hodnota BMI ve vývoji mladých hráčů postupně narůstá. Jejich naměřené hodnoty u kategoriích U16, U17 a U18 jsou $21,92 \pm 2,51$ kg.m⁻², $22,9 \pm 4,12$ kg.m⁻² a $22,55 \pm 2,58$ kg.m⁻². Dellal & Wong (2013) provedli porovnání kategoriích U15, U17, U19 a Pro2, jejichž hodnoty BMI jsou $18,96 \pm 2,09$ kg.m⁻², $21,23 \pm 1,44$ kg.m⁻², $21,70 \pm 1,60$ kg.m⁻² a $22,34 \pm 1,48$ kg.m⁻², kde signifikantně nižší hodnoty jsou u kategorie U15. Výsledky Nikolaidise (2014) ukazují podobné hodnoty, a to $21,2 \pm 2,2$ kg.m⁻² u kategorie U16, $21,9 \pm 1,8$ kg.m⁻² u kategorie U18 a $23,6 \pm 2,4$ kg.m⁻² u dospělých hráčů.

Výsledky práce ukázaly následující hodnoty výkonu ve vertikálním skoku: $43,4 \pm 3,7$ cm u kategorie U16, $44,2 \pm 2,4$ cm u kategorie U17 a $45,1 \pm 4,6$ cm u kategorie U18. Buchheit et al. (2010) objevili signifikantní rozdíl ve vertikálním skoku mezi kategorií U16 a zbylými kategoriemi. Výška vertikálního skoku byla u těchto tří kategorií $37,9 \pm 3,7$ cm, $42,6 \pm 4$ cm a $44,5 \pm 5,2$ cm. Pro porovnání ve studii le Galla et al. (2010) byly naměřené hodnoty vertikálního skoku u kategorie U16 následující: $50,6 \pm 6,4$ cm u hráčů na mezinárodní úrovni, $49,4 \pm 5,7$ cm u profesionálů a $47,8 \pm 4,9$ cm u amatérů. Ve studii Nikolaidise (2014) byla výška vertikálního skoku u kategorie U16 $36,1 \pm 5,9$ cm, u kategorie U18 $40,8 \pm 5,6$ cm a u dospělých hráčů $41,8 \pm 6,0$ cm. Měření vertikálního skoku je důležité, jelikož hráči během utkání provádí mnoho výbušných sprintů a hlavičkových soubojů. Počet těchto činností se liší mezi jednotlivými posty (Stølen, 2005). Bylo dokázáno, že výška vertikálního skoku významně koreluje s rychlostmi při sprintu v rovině i v zatáčce. Na základě těchto zjištění můžeme usuzovat, že tréninkové strategie určené ke zlepšení kapacity vertikálního skoku mohou potenciálně zlepšit schopnosti sprintu jak v rovině tak v zatáčce (Freitas et al., 2021).

V této práci nebyly nalezeny rozdíly mezi skupinami u žádných fyziologických parametrů. Průměrná hodnota $VO_2\max$ u kategorie U16 je $55,4 \pm 3,8$ ml.kg⁻¹.min⁻¹, u kategorie U17 činí $56,1 \pm 2,7$ ml.kg⁻¹.min⁻¹ a u kategorie U18 je tato hodnota rovna $54,0 \pm 3,5$ ml.kg⁻¹.min⁻¹. $VO_2\max$ je pravděpodobně nejdůležitějším faktorem určujícím úspěch v aerobně vytrvalostním sportu. Avšak u stejné osoby je nejvyšší transport kyslíku specifický pro daný typ činnosti. Proto je za účelem relevantních hodnot kladen důraz na testování ve sportovně specifických aktivitách (Hoff & Helgerud, 2004). Signorelli, Perim, Santos & Araujo (2012) porovnávali skupinu mladších fotbalistů ve věku 17-22 let se skupinou starších fotbalistů ve věku 27-36 let a nenalezly mezi skupinami rozdíl v hodnotách $VO_2\max$. Toto zjištění vysvětluje udržováním pravidelného aerobního tréninku v průběhu let. Výsledky studie le Galla et al. (2010) ukazují hodnoty u kategorie U16 u hráčů mezinárodní úrovně $62,4 \pm 2,7$ ml.kg⁻¹.min⁻¹, u profesionálních hráčů $62,2 \pm 3,2$ ml.kg⁻¹.min⁻¹ a u amatérů $61,7 \pm 3,7$ ml.kg⁻¹.min⁻¹, což může značit lepší kondiční úroveň u těchto hráčů.

Klidová srdeční frekvence v lehu u kategorie U16 je $63 \pm 9,6$ tepů za minutu, u kategorie U17 je $60 \pm 10,9$ tepů za minutu a u kategorie U18 je $64 \pm 8,6$ tepů za minutu. Klidová srdeční frekvence ve stoje u kategorie U16 je $93 \pm 10,2$ tepů za minutu, u kategorie U17 je $87 \pm 12,9$ tepů za minutu a u kategorie U18 činí $89 \pm 13,2$ tepů za minutu. Ve studii Burdukiewicz et al. (2013) naměřili u 16letých hráčů klidovou srdeční frekvenci $79 \pm 12,05$ tepů za minutu. Bricout, DeChenaud & Favre-Juvin (2010) uvádějí spánkovou klidovou

srdeční frekvenci $60 \pm 1,5$ tepů za minutu u hráčů průměrně ve věku 14,6 let. Je obecně známo, že sportovci vyšší úrovně se vyznačují zlepšením snížení klidové SF, což je dáno vyšší úrovní účinnosti kardiovaskulárního systému (Burdukiewicz et al., 2013). Měření klidové srdeční frekvence se využívá ke zjištění funkčního stavu organismu, přičemž je možno identifikovat např. únavu, onemocnění, přetrénování apod. (Botek et al., 2017).

V této práci nebyl prokázán vliv věku na vagovou aktivitu. Je známo, že soutěžní utkání představuje důležité fyzické zatížení a psychický stres. V tomto případě dochází ke snížení aktivity vagu. Je dokázáno, že během intenzivního tréninkového období se indexy VSF sportovců odchyľují od referenčních standardů, dochází ke snížení parametrů charakterizujících parasympatickou aktivitu, zatímco se zvyšují ty, které charakterizují aktivitu sympatiku (Bricout, DeChenaud & Favre-Juvin, 2010). Cataldo et al. (2015) zjistili, že vagová převaha v rovnováze autonomního nervového systému je spojena s lepším neuromuskulárním faktorem výkonu, což má za následek vyšší hodnoty podaného výkonu během krátkých opakovaných sprintů. Potvrzují, že hodnocení VSF před cvičením může být užitečné pro sledování fyzické kondice mladých fotbalistů a jejich připravenosti na vyšší výkon.

Mezi limity této práce patří relativně nízký počet jedinců v souboru a také neznalost podrobného tréninku vybraných kategorií. Dalším nedostatkem je disproporce v počtu jednotlivců u jednotlivých skupin, a to konkrétně u kategorie U18, kde je pouze 9 hráčů.

Diagnostika sportovců je velmi důležitá především proto, aby byl další tréninkový proces tvořen efektivně a docházelo k žádoucím adaptacím. Dalším důvodem je taktéž znalost efektivity dosavadního sportovního tréninku, z čehož vyplývá vhodnost pravidelného testování mladých fotbalových hráčů.

Zcela jistě by bylo v budoucím výzkumu vhodné kromě výsledků měření vybraných charakteristik zohlednit i dosavadní realizaci tréninkových plánů.

Na základě výsledků diplomové práce můžeme doporučit trenérům mladších dorosteneckých kategorií zařazovat více tréninkových jednotek vytrvalostního charakteru pro redukci tělesného tuku, a také jednotek zaměřených na sílu pro růst aktivní hmoty. Nutné je ovšem zvážit, jak moc tyto komponenty přímo ovlivňují sportovní výkon hráčů a zda není vhodnější se zaměřit na jiné faktory výkonu ve sportu.

7 Závěry

Hlavním cílem práce bylo zjistit vliv věku na vybrané kondiční složky výkonu u profesionálních dorosteneckých fotbalistů. Dílčími cíli bylo porovnat aktivitu autonomního nervového systému a dále porovnat hodnoty vybraných somatických a fyziologických parametrů u jednotlivých kategorií.

Ze somatických parametrů byly nalezeny rozdíly mezi skupinami u BMI, procentuálního zastoupení tělesného tuku a tukuprosté hmoty. Signifikantně vyšší hodnoty byly naměřeny v BMI a množství tukuprosté hmoty u kategorií U17 a U18 v porovnání s kategorií U16. Naopak kategorie U16 disponovala vyšším procentem tělesného tuku. Kategorie U16 a U18 se lišily také v celkové hmotnosti, což může být ovlivněno právě větším množstvím aktivní hmoty, která má vyšší hustotu než tuk.

Naopak u fyziologických a kondičních parametrů nebyly nalezeny žádné rozdíly napříč vybranými kategoriemi. Mezi tyto parametry patřily maximální spotřeba kyslíku, maximální výkon, výška vertikálního skoku, klidová srdeční frekvence v lehu a ve stoji. Stejně tak nebyl nalezen rozdíl v aktivitě vagu (adaptabilitě).

Ze závěrů vyplývají i odpovědi na výzkumné otázky.

8 Souhrn

Hlavním cílem práce bylo zjistit vliv věku na vybrané kondiční složky výkonu u profesionálních dorosteneckých fotbalistů. Výzkumu se zúčastnilo 43 dorosteneckých hráčů prvoligového fotbalového klubu. Tito hráči byli rozděleni podle věku do třech kategorií a to U16, U17 a U18. Veškeré laboratorní měření se uskutečnilo v Centru kinantropologického výzkumu Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Všichni probandi podstoupili vyšetření, které se skládalo z analýzy složení těla pomocí metody bioelektrické impedance, maximálního zátěžového testu, vyšetření autonomního nervového systému a testu výbušnosti dolních končetin. Mezi měřené somatické parametry patřily výška, hmotnost, BMI, množství tělesného tuku a množství tukuprosté hmoty. Fyziologické a kondiční parametry zahrnovaly VO_2max , $Pmax$, vertikální skok, SFleh, SFstoj a variabilitu srdeční frekvence.

Signifikantní rozdíly mezi vybranými kategoriemi byly objeveny u BMI. Hodnota BMI u kategorie U16 činí $21 \pm 1,6 \text{ kg.m}^{-2}$, u kategorie U17 $23 \pm 1,5 \text{ kg.m}^{-2}$ a u kategorie U18 $23,2 \pm 1,9 \text{ kg.m}^{-2}$. Rozdíly byly objeveny také u procentuálního zastoupení tělesného tuku, jehož množství je u kategorie U16 $12,7 \pm 1,4 \%$, u kategorie U17 $10,2 \pm 2,4 \%$ a u kategorie U18 $10,5 \pm 3,2 \%$, a také u množství tukuprosté hmoty. Průměrné množství tukuprosté hmoty u kategorie U16 je $58,6 \pm 7,3 \text{ kg}$, u kategorie U17 $64,4 \pm 5,9 \text{ kg}$ a u kategorie U18 $65,3 \pm 3,8 \text{ kg}$. Rozdíly mezi kategoriemi byly ve prospěch starších kategorií, které disponovaly větším množstvím aktivní hmoty a nižším zastoupením tukové složky. Také se ukázal statisticky významný rozdíl ve hmotnosti mezi kategoriemi U16 a U18. Průměrná hmotnost probandů je $67,2 \pm 8,8 \text{ kg}$ v kategorii U16, $71,9 \pm 7,6 \text{ kg}$ v kategorii U17 a $73,1 \pm 5,3 \text{ kg}$ v kategorii U18. Mezi kategoriemi nebyl nalezen rozdíl ve výšce postavy. Průměrná výška je $178,6 \pm 8,5 \text{ cm}$ u kategorie U16, $176,1 \pm 6,5 \text{ cm}$ u kategorie U17 a $177,8 \pm 5,9 \text{ cm}$ u kategorie U18.

Narozdíl od somatických parametrů, u těch fyziologických a kondičních nebyla nalezena žádná odlišnost. Průměrná hodnota VO_2max u kategorie U16 je $55,4 \pm 3,8 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, u kategorie U17 činí $56,1 \pm 2,7 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ a u kategorie U18 je tato hodnota rovna $54 \pm 3,5 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. Průměrná hodnota $Pmax$ u kategorie U16 je $6,0 \pm 0,4 \text{ W.kg}^{-1}$, u kategorie U17 $6,0 \pm 0,4 \text{ W.kg}^{-1}$ a u kategorie U18 $5,9 \pm 0,4 \text{ W.kg}^{-1}$. Průměrné hodnoty indexu aktivity vazu jsou $0,045 \pm 1,4$ u kategorie U16, $-0,337 \pm 1,8$ u kategorie U17 a $-1,309 \pm 1,7$ u kategorie U18. Průměrná hodnota SFleh u kategorie U16 je $63 \pm 9,6$ tepů za minutu, u kategorie U17 $59,8 \pm 10,9$ tepů za minutu a u kategorie U18 $63,9 \pm 8,6$ tepů za minutu.

Průměrná hodnota SFstoj u kategorie U16 je $92,7 \pm 10,2$ tepů za minutu, u kategorie U17 je $86,6 \pm 12,9$ tepů za minutu a u kategorie U18 činí $89,3 \pm 13,2$ tepů za minutu. Průměrná hodnota vertikálního skoku je rovna $43,4 \pm 3,7$ cm u kategorie U16, $44,2 \pm 2,4$ cm u kategorie U17 a $45,1 \pm 4,6$ cm u kategorie U18.

Signifikantně vyšší hodnoty byly naměřeny v BMI a množství tukuprosté hmoty u kategorií U17 a U18 v porovnání s kategorií U16. Naopak kategorie U16 disponovala vyšším procentem tělesného tuku. Kategorie U16 a U18 se lišily také v celkové hmotnosti, což může být ovlivněno právě větším množstvím aktivní hmoty u kategorie U18.

9 Summary

The main aim of this thesis was to determine the influence of age on selected fitness components of performance in professional youth soccer players. 43 adolescent players of the first league football club took part in the research. These players were divided into three categories according to age, namely U16, U17 and U18. All laboratory measurements took place in the Center for kinanthropological research of the Faculty of physical culture, Palacky University in Olomouc. All subjects underwent examinations, which consisted of analysis of body composition using the method of bioelectrical impedance, maximum stress testing, examination of the autonomic nervous system and the testing of explosiveness of the lower limbs. The measured somatic parameters included height, weight, BMI, body fat percentage and fat free mass. Physiological and fitness parameters included VO_2max , Pmax , vertical jump, heart rate supine, heart rate standing and heart rate variability.

Significant differences between the selected categories were found in BMI. The BMI value for category U16 is $21 \pm 1,6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, for category U17 $23 \pm 1,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ and for category U18 $23,2 \pm 1,9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Differences were also found in the body fat percentage, which is $12,7 \pm 1,4 \%$ in category U16, $10,2 \pm 2,4 \%$ in category U17 and $10,5 \pm 3,2 \%$ in category U18, and also for the amount of fat free mass. The average amount of fat free mass for category U16 is $58,6 \pm 7,3 \text{ kg}$, for category U17 $64,4 \pm 5,9 \text{ kg}$ and for category U18 $65,3 \pm 3,8 \text{ kg}$. The differences between the categories were in favor for the older categories, which had a larger amount of active substance and a lower body fat percentage. Statistically significant difference was also in weight between U16 and U18 categories. The average weight of probands is $67,2 \pm 8,8 \text{ kg}$ in category U16, $71,9 \pm 7,6 \text{ kg}$ in category U17 and $73,1 \pm 5,3 \text{ kg}$ in category U18. There was found no difference in body height between the categories. The average height is $178,6 \pm 8,5 \text{ cm}$ for category U16, $176,1 \pm 6,5 \text{ cm}$ for category U17 and $177,8 \pm 5,9 \text{ cm}$ for category U18.

In contrast to the somatic parameters, no difference was found in the physiological and fitness parameters. The average value of VO_2max for category U16 is $55,4 \pm 3,8 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, for category U17 it is $56,1 \pm 2,7 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ and for category U18 this value is equal to $54 \pm 3,5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. The average Pmax value for category U16 is $6,0 \pm 0,4 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$, for category U17 $6,0 \pm 0,4 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ and for category U18 $5,9 \pm 0,4 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$. The mean values of the index vagus activity are $0,045 \pm 1,4$ for category U16, $-0,337 \pm 1,8$ for category U17 and $-1,309 \pm 1,7$ for category U18. The average value of supine heart rate for category U16 is $63 \pm 9,6 \text{ bpm}$, for category U17 $59,8 \pm 10,9 \text{ bpm}$ and for category U18 $63,9 \pm 8,6 \text{ bpm}$.

The average value of standing heart rate for category U16 is $92,7 \pm 10,2$ bpm, for category U17 it is $86,6 \pm 12,9$ bpm and for category U18 it is $89,3 \pm 13,2$ bpm. The average value of the vertical jump is $43,4 \pm 3,7$ cm for category U16, $44,2 \pm 2,4$ cm for category U17 and $45,1 \pm 4,6$ cm for category U18.

Significantly higher values were measured in BMI and fat free mass in U17 and U18 categories compared to category U16. However, the U16 category had a higher body fat percentage. Categories U16 and U18 also differed in total weight, which may be influenced by the larger amount of active substance in U18 category.

10 Referenční seznam

- Abhishekh, H. A., Nisarga, P., Kisan, R., Meghana, A., Chandran, S., Raju, T., & Sathyaprabha, T. N. (2013). Influence of age and gender on autonomic regulation of heart. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 27(3), 259-264. <https://doi.org/10.1007/s10877-012-9424-3>
- Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring: Applications and limitations. *Sports Medicine*, 33(7), 517-538. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333070-00004>
- Antelmi, I., De Paula, R. S., Shinzato, A. R., Peres, C. A., Mansur, A. J., & Grupi, C. J. (2004). Influence of age, gender, body mass index, and functional capacity on heart rate variability in a cohort of subjects without heart disease. *The American Journal of Cardiology*, 93(3), 381-385. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2003.09.065>
- Arnason, A., Sigurdsson, S. B., Gudmundsson, A., Holme, I., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2004). Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(2), 278-285. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000113478.92945.CA>
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences*, 24(7), 665-674. <https://doi.org/10.1080/02640410500482529>
- Besnier, F., Labrunee, M., Pathak, A., Pavy-Le Traon, A., Galès, C., Sénard, J. M., & Guiraud, T. (2017). Exercise training-induced modification in autonomic nervous system: An update for cardiac patients. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 60(1), 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2016.07.002>
- Billat, V. L., Sirvent, P., Py, G., Koralsztein, J. P., & Mercier, J. (2003). The concept of maximal lactate steady state: A bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Medicine*, 33(6), 407-426. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333060-00003>
- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2009). The quantification of training load, the training response and the effect on performance. *Sports Medicine*, 39(9), 779-795. <https://doi.org/10.2165/11317780-000000000-00000>
- Botek, M., Krejčí, J., & McKune, A. J. (2017). *Variabilita srdeční frekvence v tréninkovém procesu: Historie, současnost a perspektiva*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.

- Botek, M., Krejčí, J., McKune, A. J., & Klimešová, I. (2016). Somatic, endurance performance and heart rate variability profiles of professional soccer players grouped according to age. *Journal of Human Kinetics*, 54(1), 65–74. <https://doi.org/10.1515/hukin-2016-0035>
- Botek, M., Krejčí, J., Neuls, F., & Novotný, J. (2013). Effect of modified method of autonomic nervous system activity assessment on results of heart rate variability analysis. *Acta Gymnica*, 43(2), 39-46. <https://doi.org/10.5507/ag.2013.011>
- Botek, M., Neuls, F., Klimešová, I., & Vyhnánek, J. (2017). *Fyziologie pro tělovýchovné obory (vybrané kapitoly, část I.)*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Bricout, V. A., DeChenaud, S., & Favre-Juvin, A. (2010). Analyses of heart rate variability in young soccer players: the effects of sport activity. *Autonomic Neuroscience*, 154(1-2), 112-116. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2009.12.001>
- Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Simpson, B. M., & Bourdon, P. C. (2010). Match running performance and fitness in youth soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 31(11), 818-825. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1262838>
- Buchheit, M., Simpson, M. B., Al Haddad, H., Bourdon, P. C., & Mendez-Villanueva, A. (2012). Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, 112(2), 711-723. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2014-0>
- Bujnovsky, D., Maly, T., Ford, K. R., Sugimoto, D., Kunzmann, E., Hank, M., & Zahalka, F. (2019). Physical fitness characteristics of high-level youth football players: Influence of playing position. *Sports*, 7(2), Article number: 46. <https://doi.org/10.3390/sports7020046>
- Burdukiewicz, A., Chmura, J., Pietraszewska, J., Andrzejewska, J., Stachoń, A., & Nosal, J. (2013). Characteristics of body tissue composition and functional traits in junior football players. *Human Movement*, 14(2), 96-101. <https://doi.org/10.2478/humo-2013-0010>
- Calandro, A., Esposito, G., & Altavilla, G. (2020). Intermittent training and improvement of anthropometric parameters and aerobic capacity in youth football. *Journal of Human Sport and Exercise*. 15(S), S599-S608. <https://doi.org/10.14198/jhse.2020.15.Proc3.12>
- Campa, F., Semprini, G., Júdice, P. B., Messina, G., & Toselli, S. (2019). Anthropometry, physical and movement features, and repeated-sprint ability in soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 40(2), 100–109. <https://doi.org/10.1055/a-0781-2473>

- Carling, C., & Orhant, E. (2010). Variation in body composition in professional soccer players: Interseasonal and intraseasonal changes and the effects of exposure time and player position. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(5), 1332–1339. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181cc6154>
- Cataldo, A., Zangla, D., Cerasola, D., Vallone, V., Grusso, G., Presti, L., & Traina, M. (2015). Influence of baseline heart rate variability on repeated sprint performance in young soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 56(4), 491–496.
- Coffey, V. G., & Hawley, J. A. (2007). The molecular bases of training adaptation. *Sports Medicine*, 37(9), 737–763. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737090-00001>
- Coutts, A. J., Rampinini, E., Marcora, S. M., Castagna, C., & Impellizzeri, F. M. (2009). Heart rate and blood lactate correlates of perceived exertion during small-sided soccer games. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(1), 79–84. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.08.005>
- Dellal, A., & Wong, D. P. (2013). Repeated sprint and change-of-direction abilities in soccer players: Effects of age group. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(9), 2504–2508. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31827f540c>
- Deprez, D., Franssen, J., Boone, J., Lenoir, M., Philippaerts, R., & Vaeyens, R. (2015). Characteristics of high-level youth soccer players: Variation by playing position. *Journal of Sports Sciences*, 33(3), 243–254. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.934707>
- Di Giminiani, R., & Visca, C. (2017). Explosive strength and endurance adaptations in young elite soccer players during two soccer seasons. *PLoS One*, 12(2), Article number: e0171734. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171734>
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon Montero, F. J., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), 222–227. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924294>
- Dovalil, J. (2012). *Výkon a trénink ve sportu* (4.). Praha: Olympia, s.r.o.
- Fajrer, Z. (2009). *Trenér fotbalu mládeže (16-19 let)*. Praha: Olympia, a. s.
- Feichtinger, P., & Höner, O. (2015). Talented football players' development of achievement motives, volitional components, and self-referential cognitions: A longitudinal study. *European Journal of Sport Science*, 15(8), 748–756. <https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1051134>

- Freitas, T. T., Jeffreys, I., Reis, V. P., Fernandes, V., Alcaraz, P. E., Pereira, L. A., & Loturco, I. (2020). Multidirectional sprints in soccer: Are there connections between linear, curved, and change-of-direction speed performances?. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *61*(2), 212-217. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.20.11155-1>
- Gibala, M. J., Little, J. P., van Essen, M., Wilkin, G. P., Burgomaster, K. A., Safdar, A., ... Tarnopolsky, M. A. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: Similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *Journal of Physiology*, *575*(3), 901–911. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.112094>
- Gledhill, A., Harwood, C., & Forsdyke, D. (2017). Psychosocial factors associated with talent development in football: A systematic review. *Psychology of Sport and Exercise*, *31*, 93-112. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2017.04.002>
- Hargreaves, M., & Spriet, L. L. (2020). Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nature Metabolism*, *2*(9), 817–828. <https://doi.org/10.1038/s42255-020-0251-4>
- Helgerud, J., Rodas, G., Kemi, O. J., & Hoff, J. (2011). Strength and endurance in elite football players. *International Journal of Sports Medicine*, *32*(9), 677–682. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1275742>
- Hoff, J., & Helgerud, J. (2004). Endurance and strength training for soccer players. *Sports Medicine*, *34*(3), 165-180. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434030-00003>
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., Castagna, C., Reilly, T., Sassi, A., Iaia, F. M., & Rampinini, E. (2006). Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, *27*(06), 483-492. <https://doi.org/10.1055/s-2005-865839>
- Jebavý, R., Kovářová, L., & Horčic, J. (2019). *Kondiční příprava*. Praha: Mladá fronta a.s.
- Jones, A. M., & Carter, H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine*, *29*(6), 373–386. <https://doi.org/10.2165/00007256-200029060-00001>
- Kellmann, M. (2010). Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *20*(2), 95–102. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01192.x>
- Kellmann, M., Bertollo, M., Bosquet, L., Brink, M., Coutts, A. J., Duffield, R., ... Beckmann, J. (2018). Recovery and performance in sport: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *13*(2), 240–245. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0759>

- le Gall, F., Carling, C., Williams, M., & Reilly, T. (2010). Anthropometric and fitness characteristics of international, professional and amateur male graduate soccer players from an elite youth academy. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *13*(1), 90–95. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.07.004>
- Lehnert, M., Botek, M., Sigmund, M., Smékal, D., Šťastný, P., Malý, T., ... Neuls, F. (2014). *Kondiční trénink*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Lehnert, M., Novosad, J., Neuls, F., Langer, F., & Botek, M. (2010). *Trénink kondice ve sportu*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Mala, L., Maly, T., Cabell, L., Hank, M., Bujnovsky, D., & Zahalka, F. (2020). Anthropometric, body composition, and morphological lower limb asymmetries in elite soccer players: A prospective cohort study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(4), Article number: 1140. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041140>
- Malik, M., Camm, A. J. (1995). *Heart rate variability*. New York: Futura Publishing.
- Matos, S., Clemente, F. M., Silva, R., Pereira, J., & Carral, J. M. C. (2020). Performance and training load profiles in recreational male trail runners: Analyzing their interactions during competitions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(23), Article number: 8902. <https://doi.org/10.3390/ijerph17238902>
- Meylan, C., Cronin, J., Oliver, J., & Hughes, M. (2010). Talent identification in soccer: The role of maturity status on physical, physiological and technical characteristics. *International Journal of Sports Science and Coaching*, *5*(4), 571–592. <https://doi.org/10.1260/1747-9541.5.4.571>
- Mujika, I., Halson, S., Burke, L. M., Balagué, G., & Farrow, D. (2018). An integrated, multifactorial approach to periodization for optimal performance in individual and team sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *13*(5), 538–561. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0093>
- Mujika, I., Santisteban, J., Impellizzeri, F. M., & Castagna, C. (2009). Fitness determinants of success in men's and women's football. *Journal of Sports Sciences*, *27*(2), 107–114. <https://doi.org/10.1080/02640410802428071>
- Murray, B., & Rosenbloom, C. (2018). Fundamentals of glycogen metabolism for coaches and athletes. *Nutrition Reviews*, *76*(4), 243–259. <https://doi.org/10.1093/NUTRIT/NUY001>

- Napier, C., Ryan, M., Menon, C., & Paquette, M. R. (2020). Session rating of perceived exertion combined with training volume for estimating training responses in runners. *Journal of Athletic Training*, 55(12), 1285–1291. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-573-19>
- Nikolaidis, P. T. (2014). Age-related differences in countermovement vertical jump in soccer players 8-31 years old: The role of fat-free mass. *American Journal of Sports Science and Medicine*, 2(2), 60-64. <https://doi.org/10.12691/ajssm-2-2-1>
- Nikolaidis, P. T. (2012). Association between body mass index, body fat percent and muscle power output in soccer players. *Central European Journal of Medicine*, 7(6), 783–789. <https://doi.org/10.2478/s11536-012-0057-1>
- Nikolaidis, P. T., & Karydis, N. V. (2011). Physique and body composition in soccer players across adolescence. *Asian Journal of Sports Medicine*, 2(2), 75. <https://doi.org/10.5812/asjasm.34782>
- Nunan, D., Donovan, G. A. Y., Jakovljevic, D. G., Hodges, L. D., Sandercock, G. R., & Brodie, D. A. (2009). Validity and reliability of short-term heart-rate variability from the Polar S810. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(1), 243-250. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318184a4b1>
- Ode, J. J., Pivarnik, J. M., Reeves, M. J., & Knous, J. L. (2007). Body mass index as a predictor of percent fat in college athletes and nonathletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(3), 403–409. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000247008.19127.3e>
- Orel, M. (2019). *Anatomie a fyziologie lidského těla*. Praha: Grada Publishing, a.s.
- Otomar, K., & Mikuláš, M. (2009). *Atlas fyziologických regulací*. Praha: Grada Publishing a.s.
- Patel, S., Roelke, C. T., Rademacher, D. J., Cullinan, W. E., & Hillard, C. J. (2004). Endocannabinoid signaling negatively modulates stress-induced activation of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis. *Endocrinology*, 145(12), 5431–5438. <https://doi.org/10.1210/en.2004-0638>
- Perič, T., & Dovalil, J. (2010). *Sportovní trénink*. Praha: Grada Publishing, a.s.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: Opening the door to effective monitoring. *Sports Medicine*, 43(9), 773-781. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0071-8>

- Psotta, R. (2006). *Fotbal: Kondiční trénink: Moderní koncepce tréninku, principy, metody a diagnostika, teorie sportovního tréninku*. Praha: Grada Publishing, a.s.
- Rebello, A., Brito, J., Seabra, A., Oliveira, J., Drust, B., & Krstrup, P. (2012). A new tool to measure training load in soccer training and match play. *International Journal of Sports Medicine*, 33(4), 297–304. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1297952>
- Riegerová, J., Přidalová, M., & Ulbrichová, M. (2006). *Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu* (3. vyd). Olomouc: Hanex.
- Sánchez-Medina, L., & González-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(9), 1725–1734. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318213f880>
- Schneider, C., Hanakam, F., Wiewelhove, T., Döweling, A., Kellmann, M., Meyer, T., ... & Ferrauti, A. (2018). Heart rate monitoring in team sports—a conceptual framework for contextualizing heart rate measures for training and recovery prescription. *Frontiers in Physiology*, 9, Article number: 639. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00639>
- Semjon, M., Botek, M., Svozil, Z., & McKune, A. J. (2016). Positional differences in the cardiorespiratory, autonomic, and somatic profiles of professional soccer players. *Acta Gymnica*, 46(2), 90–96. <https://doi.org/10.5507/ag.2016.008>
- Signorelli, G. R., Perim, R. R., Santos, T. M., & Araujo, C. G. (2012). A pre-season comparison of aerobic fitness and flexibility of younger and older professional soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 33(11), 867-872. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1311597>
- Slimani, M., & Nikolaidis, P. T. (2019). Anthropometric and physiological characteristics of male soccer players according to their competitive level, playing position and age group: A systematic review. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(1), 141–163. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.07950-6>
- Stein, P. K., & Pu, Y. (2012). Heart rate variability, sleep and sleep disorders. *Sleep Medicine Reviews*, 16(1), 47-66. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2011.02.005>
- Stejskal, P., Šlachta, R., Elfmark, M., Salinger, J., & Gaul-Alácová, P. (2002). Spectral analysis of heart rate variability: New evaluation method. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Gymnica*, 32(2), 13-18.
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer: An update. *Sports Medicine*, 35(6), 501–536. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535060-00004>

- Tobaldini, E., Narkiewicz, K., Somers, V. K., & Montano, N. (2013). Heart rate variability and sleep. *Heart Rate Variability (HRV) Signal Analysis: Clinical Applications* (pp. 185-200). CRC Press.
- Towlson, C., Copley, S., Parkin, G., & Lovell, R. (2018). When does the influence of maturation on anthropometric and physical fitness characteristics increase and subside? *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 28(8), 1946–1955. <https://doi.org/10.1111/sms.13198>
- Vaverka, F., Jakubsova, Z., Jandacka, D., Zahradnik, D., Farana, R., Uchytíl, J., ... & Vodícar, J. (2013). The influence of an additional load on time and force changes in the ground reaction force during the countermovement vertical jump. *Journal of Human Kinetics*, 38, 191-200. <https://doi.org/10.2478/hukin-2013-0059>
- Vega, J. M., Gonzalez-Artetxe, A., Aguinaco, J. A., & Arcos, A. L. (2020). Assessing the anthropometric profile of Spanish elite reserve soccer players by playing position over a decade. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(15), Article number: 5446. <https://doi.org/10.3390/ijerph17155446>
- Voss, A., Schroeder, R., Heitmann, A., Peters, A., & Perz, S. (2015). Short-term heart rate variability—influence of gender and age in healthy subjects. *PLoS One*, 10(3), Article number: e0118308. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118308>
- Wong, P. L., Chamari, K., Dellal, A., & Wisløff, U. (2009). Relationship between anthropometric and physiological characteristics in youth soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(4), 1204-1210. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31819f1e52>
- Yamamoto, Y., & Hughson, R. L. (1991). Coarse-graining spectral analysis: New method for studying heart rate variability. *Journal of Applied Physiology*, 71(3), 1143-1150.
- Zouhal, H., Jacob, C., Delamarche, P., & Gratas-Delamarche, A. (2008). Catecholamines and the effects of exercise, training and gender. *Sports Medicine*, 38(5), 401–423. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838050-00004>