MASARYKOVA
UNIVERZITA

FAKULTA SPORTOVNÍCH STUDIÍ

Analýza a porovnání výkonových parametrů u rekreačně aktivních mužů podstupujících concurrent training nebo odporový trénink

Disertační práce

MGR. DOMINIK PUDA

Školitel: Mgr. Ivan Struhár Ph.D.

Katedra pohybových aktivit a zdraví
Program Kinantropologie

Brno 2025

MUNI
SPORT

Bibliografický záznam

Autor: Mgr. Dominik Puda
Fakulta sportovních studií
Masarykova univerzita
Katedra pohybových aktivit a zdraví

Název práce: Analýza a porovnání výkonových parametrů u rekreačně aktivních mužů podstupujících concurrent training nebo odporový trénink

Studijní program: Kinantropologie

Školitel: Mgr. Ivan Struhár Ph.D.

Rok: 2025

Počet stran: 159

Klíčová slova: síla, anaerobní výkon, svalová hypertrofie, interferenční efekt

Bibliographic record

Author: Mgr. Dominik Puda
Faculty of Sports Studies
Masaryk University
Department of Physical Activities and Health Sciences

Title of Thesis: Analysis and comparison of performance parameters in recreationally active men undergoing concurrent training or resistance training.

Degree Programme: Kinantropology

Supervisor: Mgr. Ivan Struhár Ph.D.

Year: 2025

Number of Pages: 159

Keywords: strength, power, skeletal muscle hypertrophy, interference effect

Anotace

Concurrent training (souběžný odporový a vytrvalostní trénink, dále pouze CT) je nástrojem pro maximalizaci výkonu u sportovců mnoha odvětví, stejně tak se jedná o velmi efektivní nástroj pro obecnou populaci s cílem maximalizovat zdravotní benefity které jsou spojeny se samotným odporovým, nebo samotným vytrvalostním cvičením. Cílem práce bylo zjistit vliv CT v porovnání se samotným odporovým tréninkem na adaptační ukazatele po absolvování 8týdenní tréninkové intervence. Skupiny byly porovnávány z hlediska rozvoje maximální síly, anaerobního výkonu, změny tělesného složení nebo aerobní výkonnosti. V rámci změn nebyly zaznamenány statisticky významné rozdíly v adaptační odezvě mezi skupinami (ve všech sledovaných parametrech rozdíly mezi skupinami - $p > 0.05$). Věcná významnost vyjádřena velikostí efektu naznačila určité rozdíly mezi skupinami z hlediska průběhu adaptace. Výsledky poukázaly na to, že u netrénovaných, rekreačně aktivních osob CT nemá negativní vliv na rozvoj síly, anaerobního výkonu a svalové hmoty.

Abstract

Concurrent training (simultaneous resistance and endurance training, hereinafter referred to as CT) is a tool for maximizing performance in athletes across various disciplines. Additionally, it serves as a highly effective approach for the general population to maximize the health benefits associated with either resistance or endurance exercise alone. This study aimed to examine the effects of CT compared to resistance training alone on adaptation indicators following an eight-week training intervention. The groups were compared in terms of maximum strength development, power, changes in body composition, and aerobic capacity. No statistically significant differences were observed in adaptation responses between the groups across all monitored parameters (between-group differences: $p > 0.05$). However, the practical significance, expressed through effect size, indicated specific differences between the groups in terms of the adaptation process. The findings suggest that CT does not negatively impact strength development, power, or muscle mass gains in untrained, recreationally active individuals.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma **Analýza a porovnání výkonových parametrů u rekreačně aktivních mužů podstupujících concurrent training nebo odporový trénink** zpracoval sám. Veškeré prameny a zdroje informací, které jsem použil k sepsání této práce, byly citovány v textu a jsou uvedeny v seznamu použitých pramenů a literatury.

V Brně 12. února 2025

.....
Mgr. Dominik Puda

Poděkování

Děkuji svému školiteli Mgr. Ivanu Struhárovi Ph.D. za vedení během doktorského studia, za rady a podněty při zpracovávání této práce. Děkuji Mgr. Tamaře Barusové za zpracování statistické analýzy. Díky patří také rodině a blízkým, za podporu v průběhu studia.

Šablona DP 3.4.3-FSPS-dis-emipiricka-cesky (2023-01-09) © 2014, 2016, 2018–2023 Masarykova univerzita

Obsah

Seznam obrázků 13

Seznam tabulek 14

Seznam pojmů a zkratek 15

Seznam příloh 16

1 Úvod 17

2 Syntéza poznatků 19

2.1 Charakteristika odporového tréninku a souvisejících adaptací 19

2.2 Charakteristika vytrvalostního tréninku a souvisejících adaptací 22

2.3 Heterogenita adaptační odpovědi na tréninkové zatížení 24

2.4 Odporový a vytrvalostní trénink – opačné konce adaptačního kontinua? 28

2.5 Souběžný silový a vytrvalostní trénink 31

2.6 Interferenční efekt 32

2.7 Interferenční efekt – druhá strana mince 85

2.8 Souhrn syntézy poznatků 88

3 Cíle, výzkumné otázky a hypotézy 93

3.1 Cíl výzkumu 93

3.2 Výzkumná otázka 93

3.3 Hypotézy 93

4 Metodika 94

4.1 Design výzkumu 94

4.2 Výzkumný vzorek 96

4.3 Měření tělesného složení 96

4.4 Testování anaerobního výkonu (Wingate test) 97

4.5 Testování aerobní zdatnosti (test do Vita maxima) 97
4.6 Testování maximální síly (1 RM) 98
4.7 Tréninková intervence 99
4.8 Statistická analýza 103

5 Výsledky **104**

6 Diskuse **111**

6.1 Limitující faktory výzkumu 118

7 Závěry **119**

Použité zdroje **121**

Příloha A Vzor Informovaného souhlasu **150**

Seznam obrázků

Obrázek 1 Procentuální změny u non-responders po první a druhé intervenci, Převzato z Montero & Lundby (2017) 26
Obrázek 2: Rozvoj svalové síly během CT, studie Hickson (1980), obrázek převzat z Perez-Schindler et al. (2015)..... 34
Obrázek 3 Teoretický model průběhu adaptace a vlivu trénovanosti jedince, převzato z Caffey a Hawley, (2017)..... 40
Obrázek 4: Model interference navržen autory Docherty & Sporer, 2000 49
Obrázek 5: Upravený model interferenčního efektu (Vechin et al., 2021). 50
Obrázek 6: Upravený model interferenčního efektu z hlediska rozvoje svalové hypertrofie 51
Obrázek 7: Grafické znázornění průběhu rozvoje síly mezi jednotlivými intervenčními skupinami (Gergley, 2009) 54
Obrázek 8: Model, ve kterém může mít zakomponování OT pro vytrvalce důsledek v sub-optimálním vytrvalostní adaptaci (Doma et al., 2017) 86
Obrázek 9: Faktory potenciálně ovlivňující interferenční efekt..... 92
Obrázek 10: Design výzkumu 95

Seznam tabulek

Tabulka 1: Meta-analýzy porovnávající vliv CT a OT na svalovou hypertrofii 72
Tabulka 2: Meta-analýzy srovnávající vliv CT a OT na rozvoj maximální síly 77
Tabulka 3: Meta-analýzy srovnávající vliv CT a OT na rozvoj anaerobního výkonu 83
Tabulka 4: Základní popis participantů 96
Tabulka 5: Popis odporového tréninku 101
Tabulka 6: Popis vytrvalostního tréninku 102
Tabulka 7: Srovnání výsledků ve dřepu a bench-pressu 104
Tabulka 8: Srovnání výsledků v rámci Wingate testu 105
Tabulka 9: Srovnání výsledků v rámci testu do Vita maxima 106
Tabulka 10: Srovnání výsledků v rámci měření tělesné kompozice pomocí DXA 107
Tabulka 11: Srovnání velikosti efektu pro jednotlivé proměnné 109

Seznam pojmů a zkratek

akt	–	proteinkináza B
ampk	–	adenosinmonofosfát-aktivována proteinová kináza
CI	–	interval spolehlivosti/confidence interval
CNS	–	centrální nervový systém
CSA	–	cross-section area/plocha příčného průřezu svalem
CT	–	souběžný silový a vytrvalostní trénink/concurrent training
FFM	–	bez-tuková hmota/fat free mass
High-responder	–	osoba, která po tréninkové intervenci vykazuje velmi významnou změnu ve sledovaném parametru
IGF-1	–	inzulínu podobný růstový faktor/Insulin-like growth factor
MPS	–	syntéza svalových proteinů/muscleprotein synthesis
mtor	–	savčí cíl rapamycinu/mammalian target of rapamycin
Non-responder	–	osoba, která po tréninkové intervenci nevykazuje změnu ve sledovaném parametru
mtor	–	savčí cíl rapamycinu/mammalian target of rapamycin
OT	–	odporový trénink
VO_{2max}	–	maximální příjem kyslíku
VT	–	vytrvalostní trénink

Seznam příloh

Přílohy v textu

Příloha A Vzor Informovaného souhlasu 150

1 Úvod

V současnosti jsou kladeny stále vyšší nároky na sportovní výkony atletů. Většina sportovních odvětví potřebuje pro maximalizaci výkonu kombinovat jak rozvoj silových schopností, tak rozvoj vytrvalostních schopností. Kombinace silového (odporového) tréninku a vytrvalostního tréninku by měla být pravidelnou součásti života i běžné populace, jelikož jsou tato dvě odvětví spojena s rozdílnými adaptacemi, které mohou odlišnými způsoby ovlivnit zdraví člověka, a při jejich souběžném provádění je možné vytěžit maximum zdravotních benefitů.

Provádění CT s sebou kromě mnoha benefitů přináší i možnost negativního ovlivnění adaptací na odporový trénink (svalová hypertrofie, maximální síla, *power*). Tento jev byl poprvé v rámci vědecké evidence dokumentován v publikaci z roku 1980. Kdy během tréninkové intervence došlo u skupiny provádějící CT nejprve ke stagnaci v nárůstu síly, a v posledních týdnech k jejímu poklesu. Oproti tomu skupina provádějící samotný odporový trénink vykazovala po celou dobu intervence zlepšení v rámci rozvoje maximální síly. Tento jev byl mnohokrát pozorován i v pozdějších studiích a v různých případech se dotýkal rozvoje svalové hypertrofie, maximální síly nebo power komponenty. Negativní vliv vytrvalostního tréninku, na adaptaci při souběžně prováděném odporovém tréninku byl nazván „interferenční efekt“, v rámci odborné literatury se uvádí i alternativy jako „chronická interference“ nebo „concurrent training effect“.

Již několik dekád se různé vědecké týmy snaží přijít na to, který mechanismus je podkladem pro negativní ovlivnění silových adaptací, a jakým způsobem nastavit CT, aby k interferenčnímu efektu nedocházelo. Evidence naznačuje, že do výsledného efektu vstupují jednak metodologické proměnné z oblasti samotného tréninku (například frekvence, intenzita, časová blízkost tréninkových jednotek, tréninkový status), ale i genetické faktory a faktory prostředí (genetická výbava, trénovatelnost, stres, spánek), a samozřejmě výživa (energetická bilance, sacharidy, bílkoviny). Zmíněné faktory se mohou navzájem ovlivňovat, z toho důvodu je nemožné vybrat pouze jednu, která je hlavním činitelem zodpovědným za interferenční efekt. Mnoho autorů se shoduje v tom, že se jedná o multifaktoriální fenomén, který nelze vysvětlit na základě jednoho vstupního faktoru.

Tato práce v teoretické části jednotlivé faktory popíše a v praktické části se zaměří na 8týdenní tréninkovou intervenci, v rámci které budou u rekreačně aktivních osob zkoumány adaptační odezvy na samotný odporový, nebo souběžný silový a vytrvalostní trénink.

2 Syntéza poznatků

Odpověď na zatížení ve formě fyzické aktivity přináší fenotypové změny na úrovní kosterního svalstva, změny v množství metabolických enzymů či kontraktilních bílkovin, velikosti srdečního svalu a další. Charakteristika odpovědi na zatížení je závislá především na typu stimulu, jeho intenzitě, délce trvání a frekvenci. Následující kapitoly charakterizují odporový a vytrvalostní trénink, společně se souvisejícími adaptacemi, které je v průběhu času doprovází. Převážná část syntézy poznatků bude věnována kombinaci odporového a vytrvalostního tréninku a jeho úskalím.

2.1 Charakteristika odporového tréninku a souvisejících adaptací

Odporový trénink je charakterizován jako cvičení proti relativně vysokému odporu (s vysokou zátěží), s obecně krátkou dobou trvání (Hughes et al., 2018). Odporový trénink vede k zvýšení svalové síly, zlepšení v rámci ukazatelů „power“[1], zvýšení plochy příčného průřezu svalu (dále pouze CSA – z angl. Cross-sectional area) a změnám na úrovni tuhosti pojivové tkáně (Hughes et al., 2018). Tyto adaptace mohou být obecně označeny jako morfologické a neurální (Jenkins et al., 2017).

Neurální adaptace

Ačkoliv dlouhodobý odporový trénink je doprovázen změnami na úrovni svalové morfologie, počáteční zvýšení produkce síly je primárně způsobeno adaptací na neurální úrovni, což může být podpořeno výsledky pozorování, kdy především v rámci začátku s odporovým cvičením dochází k nárůstu síly bez znatelné svalové hypertrofie (Gabriel et al., 2006; Škarabot et al., 2021). Jeden z primárních mechanismů adaptace na neurální úrovni, je zvýšení schopnosti maximálně excitovat motorické neurony,

[1] Vzhledem k tomu, že mnoho anaerobního ukazatelů (např. Wingate test), anebo ukazatelů výbušné síly (např. “rate of force development“) je v anglickém jazyce skryto pod pojmem „*power*“. Budeme pro zjednodušení v této práci pro ukazatele anaerobního výkonu a explozivní síly také používat zastřešující pojem „*power*“

které jsou rekrutovány mnohem snadněji a jejich frekvence výbojů se zvyšuje (Del Vecchio et al., 2019; Jenkins et al., 2017). Dochází rovněž ke změnám vzoru svalové aktivace (vztah agonista – synergista a agonista – antagonista), což také může vést ke zvýšení frekvence výbojů motoneuronů nebo zvýšení množství zapojených motoneuronů (a tedy svalových vláken) během svalové akce (Fernandez del Olmo et al., 2006). Nedávná meta-analýza poukázala na fakt, že dlouhodobě prováděný odporový trénink modifikuje jak kortikální, tak subkortikální motorické okruhy, které společně působí na zlepšení aktivace motoneuronového „poolu", což může podpořit zvýšení síly (Siddique et al., 2020). Ačkoliv v rámci neurální adaptace dochází skrze několik různých mechanismů ke změnám, které pozitivně ovlivňuji produkci síly, doposud není známo, který z mechanismů je ten nejdůležitější (Elgueta-Cancino et al., 2022).

Morfologické adaptace

Primární morfologickou adaptací na odporový trénink je zvýšení příčného průřezu svalu (hypertrofie), k čemuž dochází na základě zvětšení jednotlivých myofibril a také zvýšení jejich množství (Folland & Williams, 2007). Další morfologické změny jsou hyperplazie, změna typu svalových vláken, změna hustoty myofilament a strukturální změny na úrovni pojivové tkáně a šlach (Folland & Williams, 2007).

Recentní literatura definuje svalovou hypertrofii jako zvýšení velikosti kosterního svalstva, které je doprovázeno zvýšením množství minerálů, bílkovin, nebo (energetických) substrátů – glykogen, intramuskulární triglyceridy. Hypertrofie kosterního svalstva se dále může dělit na hypertrofii pojivové tkáně, myofibrilární hypertrofii a sarkoplasmatickou hypertrofii (Haun et al., 2019):

- Hypertrofie pojivové tkáně lze charakterizovat jako zvýšení objemu extracelulární matrix kosterního svalu, společně se zvýšením množství minerálu a bílkovin.
- Sarkoplasmatická hypertrofie je chronické zvýšení objemu sarkolemy či sarkoplasmy, doprovázené zvýšením objemu mitochondrií, sarkoplasmatického retikula, enzymů a substrátu.
- Myofibrilární hypertrofie může být definována jako zvýšení velikosti či množství myofibril, doprovázené zvýšením množství sarkomer, případně bílkovin, které jsou přímo

spojené se strukturou sarkomery či její schopnosti produkovat sílu.

Sarkoplasmatická hypertrofie je charakteristická tím, že společně se zvýšením průřezu svalového vlákna nedochází k proporcionálnímu růstu počtu proteinů, doposud není jisté, proč k ní dochází a za jakých specifických podmínek, literatura je v tomto prozatím v rozporu (Roberts et al., 2020).

Další morfologickou adaptací (a rovněž stále velkou neznámou) na odporový trénink je svalová hyperplazie. Během svalové hyperplazie dochází k zvýšení počtu jednotlivých svalových vláken uvnitř svalu (Kelley, 1996). Hyperplazie je spojována s proliferací satelitních buněk, avšak doposud nemáme přesvědčivé důkazy, že k hyperplazii v rámci lidských subjektů při provádění odporového tréninku dochází (McGlory & Phillips, 2015). Některé zdroje uvádí, že iniciátorem procesu hyperplazie je nepřerušované, kontinuální natažení svalu. Během takového procesu nemá svalové vlákno dostatek času k regeneraci, což stimuluje aktivaci satelitních buněk a následně vede k formaci nových svalových vláken (Warneke et al., 2023). Ovšem natažení svalu pod zátěží musí být významné a konvenční odporový trénink bohužel takový stimul neposkytuje. Podporu mechanismu svalového poškození dodávají výzkumy na hlodavčích modelech, kdy již v rámci jednoho „tréninku“ vedoucího k značnému svalovému poškození, došlo k svalové hyperplazii (Tamaki et al., 1997). Jako další vysvětlení procesu hyperplazie autoři udávají dosažení mezní hodnoty pro velikost svalového vlákna (pomocí hypertrofie), kdy následně dojde k „rozdělení“ svalového vlákna na více vláken (Warneke et al., 2023).

Jedním z důvodů, proč prozatím nemáme jasná data v rámci lidských pozorování je, že k hyperplazii většinou dochází za extrémních podmínek (například při svalové ablaci, kdy jsou chirurgicky odstraněny např. m. gastrocnemius, m. soleus, a tím pádem dochází k přetížení m. plantaris) nejčastěji se svalová ablace provádí u hlodavčích modelů. Za těchto podmínek lze pozorovat zvýšení množství satelitních buněk až o 275 % (Kirby et al., 2016). Tyto podmínky je nemožné navodit u lidských subjektů.

- Odporový trénink je charakterizován relativně krátkou dobou trvání a vysokou relativní intenzitou zatížení.
- Mezi hlavní adaptace patří zvýšení svalové hmoty, zvýšení síly a anaerobního výkonu.
- Mechanismy adaptace jsou založené především na změnách v rámci nervového systému, případně na změnách týkajících se hmoty kosterního svalstva.

2.2 Charakteristika vytrvalostního tréninku a souvisejících adaptací

Vytrvalost je možné charakterizovat jako schopnost svalu udržet svou funkci po celou dobu vícenásobné kontrakce, případně obecně jako schopnost organismu odolávat únavě, kterou můžeme chápat jako neschopnost udržet daný výkon či rychlost (Gacesa et al., 2013; Pye & Hamilton, 2010). Vytrvalost lze rozdělit na vytrvalost celkovou (kardiovaskulární) nebo vytrvalost svalovou (Drews & Wilmore, 1999).

Vytrvalostní trénink je z hlediska udržení homeostázy výzvou pro organismus. Je spojen s narušením stálosti vnitřního prostředí v mnoha tkáních a orgánech, což může být zapříčiněno zvýšenou metabolickou aktivitou v rámci opakované kontrakce kosterního svalstva (Furrer et al., 2023). V důsledku adaptace na zatížení dochází ke změnám na úrovni centrálního nervového systému, metabolismu, kosterního svalstva a transportu kyslíku (Hawley et al., 2014).

Mitochondrie jsou hlavní sub celulární struktury, které determinují oxidativní kapacitu a odolnost proti únavě během prolongované kontraktilní aktivity kosterního svalstva (Coffey & Hawley, 2007). Vytrvalostní trénink, v rámci lokální adaptace (na úrovni svalu), podporuje například mitochondriální biogenesi (zvýšení množství i velikosti mitochondrií) a zvýšení kapilární denzity, přičemž tyto změny pomáhají v rámci transportu kyslíku do svalů a v procesu jeho využití pro generaci energie nutné k pohybu (Hearris et al., 2018; Hughes et al., 2018). S adaptací mitochondrií se pojí i zvýšená aktivita některých enzymů a transportních bílkovin, zapojených do hlavních metabolických drah (Booth et al., 2015). I další z adaptačních mechanismů se týkají substrátového

metabolismu, například svalového glykogenu. Vysoce trénovaní vytrvalci vyčerpávají svalový glykogen pomaleji než netrénovaní jedinci, přičemž tento efekt je vázán lokálně na procvičované svaly (Hawley, 2002; Hearris et al., 2018). Vytrvalostní trénink také vede ke zvýšení kapacity kosterního svalstva pro ukládání glykogenu a triglyceridů, což zvyšuje dostupnost energetických substrátu pro fyzický výkon (Hearris et al., 2018). Společně s navýšením glykogenových zásob rovněž dochází k úspoře glykogenu během sub-maximální zátěže skrze zvýšení oxidace tuků (Coffey & Hawley, 2007).

Všechny tyto procesy v pozadí se pak mohou projevit v rámci nárůstu jednoho z hlavních ukazatelů aerobní zdatnosti –VO_{2max}. VO_{2max} (maximální příjem kyslíku) je jeden z hlavních indikátorů posuzování kardiovaskulární zdatnosti jednotlivce. Zvýšení hodnoty v rámci tohoto ukazatele se často používá jako hlavní metoda pro posouzení tréninkového efektu (Bassett & Howley, 2000). VO_{2max} je determinován kapacitou CNS pro rekrutaci motorických jednotek, kardiovaskulárním systémem pro dodávku kyslíku pracujícím svalům, a schopností kosterního svalstva „spotřebovat“ kyslík v rámci oxidativních metabolických drah (Hawley et al., 2014).

- Vytrvalostní trénink je charakterizován delší dobou trvání a nižší relativní intenzitou zatížení.
- Vytrvalost může být kardiovaskulární anebo svalová.
- V důsledku cvičení dochází k adaptaci na úrovni CNS, metabolismu, kosterního svalstva, transportu kyslíku.
- Adaptace zahrnují např. mitochondriální biogenezi, zvýšenou aktivitu oxidativních enzymů, zvýšení kapacity pro ukládání energetických substrátů a jejich efektivnější využití, zvýšení kapilární denzity.

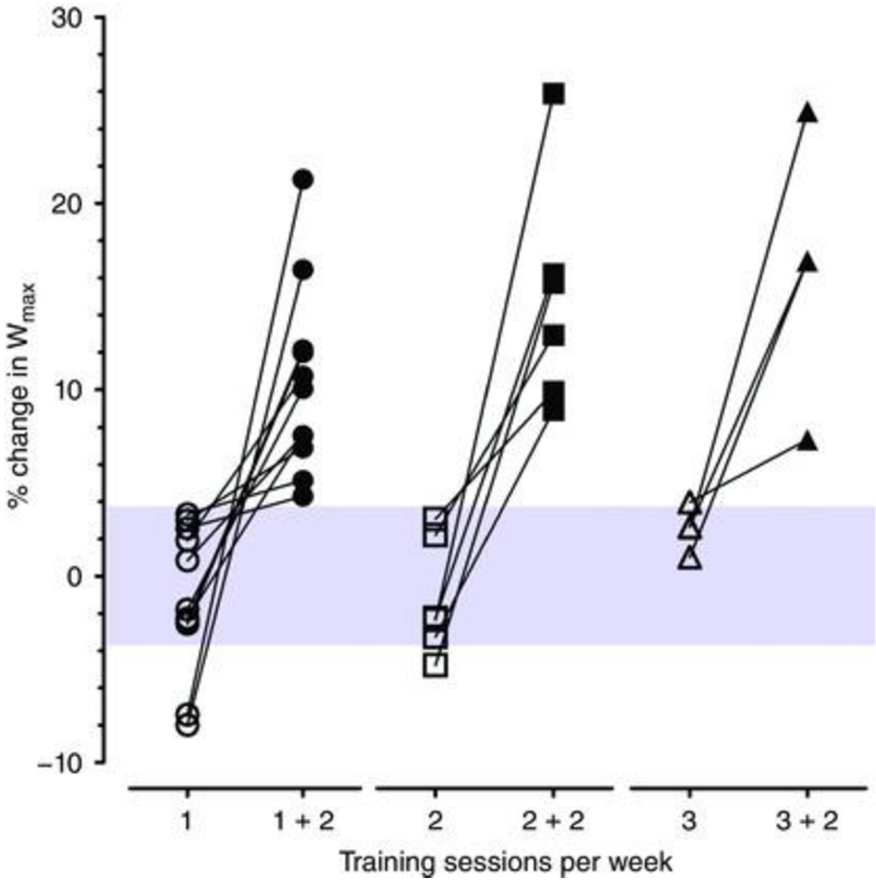
2.3 Heterogenita adaptační odpovědi na tréninkové zatížení

V rámci odpovědi na zatížení je v odborné evidenci pozorována určitá variabilita, ve formě změn na úrovní různých systémů (muskuloskeletální, kardiovaskulární,…), přičemž tato variabilita v odpovědi na standardizovaný tréninkový program může mezi participanty dosahovat několikanásobků (Bouchard et al., 2011). Rozdíly v adaptační odezvě na zatížení jsou označovány jako individuální trénovatelnost (Bonafiglia et al., 2022). Velmi důležité je zmínit, že absence fyziologické odpovědi na intervenci v rámci jednoho parametru neznamená, že je jedince tzv „non-responder“ (označení pro osoby, u kterých v rámci sledovaného parametru nedojde ke změně, ačkoliv se dala změna očekávat) v rámci všech výstupů či proměnných (Sparks, 2017). Někteří participanti po tréninkové intervenci nemusí vykazovat žádné změny ve sledovaném parametru „A“, na druhou stranu mohou vykázat značnou adaptaci v parametru „B“. To znamená, že jedinci, klasifikováni jako „non-responders“ v jednom parametru (např. svalová síla), mohou být zároveň klasifikováni jako „high-responders“ v dalším parametru (např. VO_{2max})(Carpinelli, 2017). Z velké části má tato variabilita genetický základ, výsledky tzv. HERITAGE studie naznačují, že genetické faktory vysvětlují 47 % variace odpovědi na zatížení v podobě zvýšení VO_{2max}. Zvýšení VO_{2max} v odpovědi na standardizovaný 20týdenní tréninkový program (který dokončilo 742 osob z původních 855) se v dané studii pohybovalo v rozmezí -4.7 % do 47.8 % (Sarzynski et al., 2022). I další autoři zdůvodňují absenci fyziologické odpovědi především genetickým základem a tím, jak je genetický kód přepisován, překládán a případně post-translačně modifikován (Sparks, 2017). Meyler et al. (2021) specifikují, že rozdíly v trénovatelnosti (v tomto případě specificky pro VO_{2max}) jsou ovlivněny biologickými i metodologickými faktory, na jedné straně je to genetický základ, věk, pohlaví a úroveň VO_{2max} na začátku intervence. Na straně druhé metodika preskripce tréninku, intenzita a objem tréninku, případně modalita (Meyler et al., 2021)

Někteří autoři uvádí, že „non responders“ vlastně neexistují, že tyto „nereagující“ osoby „reagují“ na vyšší dávky zatížení (Montero & Lundby, 2017). Montero & Lundby (2017) ve své studii rozdělili 78 probandů do pěti skupin podle toho, kolik vytrvalostních tréninkových jednotek týdně probandi absolvují:

- Jedna 60minutová tréninková jednotka týdně
- Dvě 60minutové tréninkové jednotky týdně
- Tři 60minutové tréninkové jednotky týdně
- Čtyři 60minutové tréninkové jednotky týdně
- Pět 60minutových tréninkových jednotek týdně

Trénink byl v rámci všech skupin totožný, měnila se pouze frekvence tréninků, a tedy i celkový čas tréninku týdně (od 60 minut po 300 minut). Autoři se v rámci výsledků soustředili na několik proměnných (např. VO_{2max}, maximální výkon (W_{max}), hemoglobin, mitochondriální denzita). Osoby, které byly klasifikovány v rámci testu s kontinuálně se zvyšujícím odporem (W_{max}) jako „non-responders" byly charakterizovány změnou ve výkonu, která byla v intervalu typickém pro chybu měření (±3.96 %). V rámci skupin 1, 2, 3, 4 a 5, byl výskyt „non responders" následovný: 69 %, 40 %, 29 %, 0 % a 0 %. Tyto osoby následně podstoupily další 6týdenní intervenci, s tím rozdílem, že měli navýšen počet tréninkových jednotek týdně o 2 (tedy 1+2, 2+2 a 3+2, podle toho, jaký byl jejich předchozí počet tréninkových jednotek). Po této intervenci se již nevyskytl žádný „non-responder". Autoři vyvodili, že individuální „ne-reakce" kardiovaskulární fitness na trénink je prakticky eliminována zvýšením objemu tréninku (Montero & Lundby, 2017). Individuální změny v rámci maximálních Wattů v zátěžovém testu u „non responders" po první a druhé intervenci si lze prohlédnout na obrázku č. 1 níže. Z obrázku je patrné, že se po druhé fázi intervence všechny osoby přesunuly z oblasti procentuálně vyznačující typickou chybovost měření (±3.96 %) a nikdo z nich již nebyl označován jako „non-responder".



Obrázek 1 Procentuální změny u non-responders po první a druhé intervenci, Převzato z Montero & Lundby (2017)

Zvýrazněná oblast představuje typickou chybu měření.

Nejen vytrvalostní adaptace, ale i adaptace silové podléhají velké variabilitě. Hubal et al. (2005) se zaměřili na adaptaci na odporový trénink o délce 12 týdnů a frekvenci 3x týdně. Výzkum absolvovalo 585 netrénovaných mladých mužů a žen. Probandi na začátku a na konci podstoupili měření 1 RM. Průměrné zvýšení síly bylo o 54 %, přičemž rozsah změny byl v rozmezí 0–250 %. Zvýšení příčného průřezu flexorů paže bylo v průměru o 18.9 % a rozmezí od -2% do +59 % (Hubal et al., 2005). Tyto výsledky naznačují velmi široké rozmezí adaptace na totožný trénink. Zajímavé výsledky přinesla další studie zabývající se rozdíly v adaptaci na odporový trénink. Autoři v této studii zjišťovali individuální rozdíly v síle a hypertrofii při adaptaci na odporový trénink (Räntilä et al., 2021). Autoři rekrutovali 24 mužů, kteří podstoupili 10týdenní

trénink a poté 6týdenní přestávku od cvičení („de-trénink“). Nástroji k posouzení adaptace bylo 1 RM v leg-pressu, CSA m. vastus lateralis nebo také hladiny hormonů v séru. V průměru došlo po intervenci k nárůstu CSA o 10.7 % a 1 RM v leg-pressu o 16.3 % (obojí $p < 0.05$). Autoři dále probandy rozdělili do tří skupin dle množství svalové hypertrofie na tzv. „high-responders (> 15 % zvýšení), „medium-responders“ (4.5–15 % zvýšení) a „low-resonders (<4.5 % zvýšení). Následovalo 6 týdnů přestávky od cvičení a poté další měření příčného průřezu. Zajímavé bylo, že skupina „high-responders“ zaznamenala 10 % úbytek objemu v rámci CSA, přičemž ostatní dvě skupiny pouze – 0.7 % respektive –0.6 %. Autoři vyvodili, že „high-responders“ sice zvýšili množství svalové hmoty do největší míry, ale v rámci přestávky od cvičení u nich taktéž došlo k největšímu úbytku svalové hmoty (Räntilä et al., 2021).

Kromě výše zmíněných důkazů o žádném zlepšení v důsledku tréninkové intervence, shromážděná data ze šesti studií naznačují, že přibližně 10 % osob vykazuje nepříznivou metabolickou reakci na trénink - tj. zvýšené riziko onemocnění (Bouchard et al., 2012). Nepříznivá reakce na trénink je definována jako změna větší než dvojnásobek technické chyby měření v negativním směru. Ve zmíněné studii pak 7 % participantů vykazovalo nepříznivou reakci u dvou a více rizikových faktorů (Bouchard et al., 2012). Toto zjištění je znepokojivé, jelikož pro některé osoby může být cvičení neefektivní vzhledem k zlepšení rizikových faktorů, a u dalších osob může potenciálně dojít i k zvýšení rizika onemocnění (Pickering & Kiely, 2019). Trénovatelností se zabývala rozsáhla meta-analýza z roku 2022, která měla cíl zjistit inter-individuální rozdíly v trénovatelnosti týkající se kardiovaskulární zdatnosti, obvodu pasu a tělesné hmotnosti (Bonafiglia et al., 2022). Autoři v rámci interpretace zmiňují, že pozorované interindividuální rozdíly ve změnách sledovaných proměnných jsou založené zřejmě na chybě měření a vnějších behaviorálních faktorech, nikoliv na rozdílech v trénovatelnosti (Bonafiglia et al., 2022). Zmíněné behaviorální faktory ovlivňující výsledky intervence mohou být stres, výživa, spánek a další (Mann et al., 2014). Další autoři naznačují, že eliminaci prevalence „non-responders“ lze vyřešit buďto zvýšením množství měřených proměnných anebo zvýšením objemu, intenzity, či délky trvání intervence (Pickering & Kiely, 2019).

- Odpověď na zatížení je charakterizována značnou inter-individuální heterogenitou
- Rozdíly v adaptaci na totožný tréninkový program mohou být mezi jedinci několikanásobné
- Podle stupně adaptační odpovědi se jedinci často rozdělují na „non-responders“ a „high-responders“
- Míra adaptační odpovědi může být ovlivněna jak genetickým základem, tak faktory prostředí (spánek, stres, výživa), ale i typem výstupu a spolehlivosti měření

2.4 Odporový a vytrvalostní trénink – opačné konce adaptačního kontinua?

Vzhledem k odlišným (často protichůdným) adaptacím na vytrvalostní a odporový trénink, lze říct, že adaptace na tyto dva druhy tréninku leží na opačných koncích adaptačního kontinua. Odporový trénink nevede k mitochondriální biogenezi a zvýšení CSA zvětšuje difúzní vzdálenost pro kyslík a energetické substráty (Coffey & Hawley, 2007). Tyto změny nejsou ku prospěchu aerobní kapacity. Na druhou stranu, dlouhodobý vytrvalostní trénink nemá značný vliv na velikost svalových vláken, a reziduální únava vznikající tímto tréninkem může mít negativní vliv na svalovou proteosyntézu (MPS – muscle protein synthesis) a schopnost generovat sílu (Coffey & Hawley, 2007). Ovšem existují důkazy, že za určitých podmínek, může vytrvalostní trénink vést ke svalové hypertrofii (Konopka & Harber, 2014), a u netrénovaných osob může odporový trénink zvýšit oxidativní potenciál procvičených svalů (Tang et al., 2006).

Avšak míra svalové hypertrofie vyvolaná vytrvalostním tréninkem zdaleka nedosahuje hodnot jako míra svalové hypertrofie, kterou pozorujeme v rámci odporového tréninku. Kromě samotných pozorování sportovců specifikujících se na tyto dvě odlišné „disciplíny“ je důkazem pro toto tvrzení meta-analýza z roku 2019. Zmíněná meta-analýza v rámci výsledků potvrdila významné rozdíly mezi nárůstem svalové hmoty v rámci aerobního a odporového tréninku jak na úrovni „celého svalu“ tak na úrovni svalových vláken I nebo II typu (ES 0.66, ES 0.99 a

ES 1.44 , ve všech případech $p < 0.001$, ve prospěch OT)(Grgic et al., 2019). Je nutné zmínit, že drtivá většina studií se zaměřila na svalovou hmotu extenzorů kolene, avšak autoři předpokládají obdobný trend i u dalších svalových skupin (Grgic et al., 2019).

Zajímavé je, že VT by snad mohl svalovou hypertrofii podpořit i nepřímo, podkladem pro to je studie, kterou popíšu na následujících řádcích. Studie porovnávala vliv vytrvalostního a odporového tréninku v porovnání se samotným odporovým tréninkem, na svalovou hypertrofii, ačkoliv bez provádění typického CT. Zapojilo se 14 osob, design byl nastaven jako „within-subject" kdy jedna dolní končetina byla randomizována do intervence vytrvalostního tréninku následovaného odporovým tréninkem (6 týdnů vytrvalostního tréninku, následně 10 týdnů odporového tréninku), druhá končetina absolvovala pouze 10týdenní odporový trénink (Thomas et al., 2022). Autoři předpokládali, že vytrvalostní trénink povede ke zvýšené kapilarizaci (skrze proces zvaný angiogeneze), což může následně pomoci rekrutaci satelitních buněk během období odporového tréninku. Celkově vzrostla hustota kapilár do větší míry u nohou provádějících šest týdnů vytrvalostní trénink a poté odporový trénink. Zvýšení CSA vláken I i II typu bylo významnější u skupiny provádějící i vytrvalostní trénink, stejně tak v rámci končetiny, která před samotným odporovým tréninkem podstoupila vytrvalostní trénink, byla tendence k výraznějšímu zvýšení množství satelitních buněk (Thomas et al., 2022). Vypadá to, že zvýšení kapilarizace před samotnou intervencí odporového tréninku může podpořit adaptaci na odporový trénink, například skrze významnější rekrutaci satelitních buněk.

Toto zjištění podporují i další výzkumy, Moro et al. (2019) ve své studii dospěli k závěru, že kapilarizace svalových vláken před začátkem intervence může být prediktorem hypertrofické odpovědi u starších dospělých osob (71.1 ± 4.3 let). Autoři vyvozují, že ačkoliv ze získaných dat nelze stanovit minimální práh pro množství kapilár, které by mohlo předpovědět svalovou hypertrofii, přesto kapilarizace hraje klíčovou roli v regulaci svalové adaptace (Moro et al., 2019). S čímž souhlasí i další autoři, kteří uvádí nízkou úroveň kapilarizace jako jeden z možných faktorů rozvoje sarkopenie (Prior et al., 2016).

Specifické adaptace na jednotlivé typy zatížení mají své základy ve změnách na úrovni genové exprese, které jsou způsobeny aktivací či útlumem různých signálních drah, které adaptační procesy aktivují (Coffey & Hawley, 2007, 2017). V rámci adaptační mechanismů u vytrvalostního a odporového tréninku se vědecké bádání soustředí především na dva

významné enzymy – AMPK (z angl. AMP-activated protein kinase, adenosinmonofosfát-aktivovaná proteinová kináza) a mTOR (z angl. mammalian target of rapamycin, savčí cíl rapamycinu).

AMPK funguje jako hlavní metabolický senzor buňky, který je aktivován například skrze zvýšení poměru AMP a ADP k ATP (Steinberg & Hardie, 2023). Spouštěčem aktivity AMPK tedy může být metabolický stres v podobě hypoxie, ischemie, oxidativní stres, ale rovněž zvýšený výdej energie skrze svalovou kontrakci (Ha et al., 2015; Long & Zierath, 2006; Richter & Ruderman, 2009). V rámci cvičení je to především vytrvalostní trénink, který může vést k aktivaci AMPK skrze snížení hladiny glukózy a podporu uvolňování volných mastných kyselin z tukové tkáně (Steinberg & Hardie, 2023). Po aktivaci, AMPK funguje jako jakási energetická „brzda“, která podporuje katabolické procesy (které produkují ATP) a inhibuje anabolické procesy, které energii spotřebovávají (Steinberg & Hardie, 2023). Aktivita AMPK je zřejmě spojena i s hladinou glykogenu, jelikož aktivace AMPK cvičením je vyšší u osob, které jsou ve stavu vyčerpaných glykogenových zásob, při porovnání se stavem, kdy je glykogenu dostatek (Wojtaszewski et al., 2003).

mTOR je proteinová kináza, která funguje jako klíčový bod, kde dochází ke konvergenci růstových signálů a nutričního stavu v rámci regulace syntézy proteinů (Bodine, 2022; Watson & Baar, 2014). mTOR se dělí na dva komplexy (mTORC1 a mTORC2), které kontrolují metabolismus svalových vláken, růst a proliferaci buňky (Sirago et al., 2022). Z pohledu vlivu na svalovou hmotu je pozornost věnována především mTORC1. Tento komplex reaguje na různé signály, zahrnující nutrienty (především aminokyseliny a glukóza), mechanické zatížení, růstové faktory (IGF-1 – inzulínu podobný růstový faktor, z angl. Insulin-like growth factor), hormony (inzulín) a hladinu kyslíku, což naznačuje jeho centrální roli v regulaci metabolismu a růstu (Bodine, 2022). V současnosti je známo, že k aktivaci mTORC1 dochází po cvičení, a že inhibice tohoto komplexu (pomocí rapamycinu) blokuje tréninkem vyvolané zvýšení syntézy svalových proteinů (Song et al., 2017).

Aktivace AMPK a mTOR má tedy opačný efekt na MPS (z angl. muscle protein synthesis, syntéza svalových bílkovin) a MPB (z angl. Mucle protein breakdown, rozpad svalových bílkovin), což naznačuje, že relativní aktivace těchto dvou bílkovin může být důležitým determinantem hypertrofické adaptace v rámci kosterního svalstva (Levitt et al., 2023). Syntéza proteinů, za kterou je mTOR zodpovědný, je energeticky velmi náročný proces. Některé zdroje uvádí, že 20 – 50 % klidového

metabolismu je spojeno s obratem bílkovin (Welle & Nair, 1990). Pokud je energetický stav buňky ohrožen, nebylo by rozumné, aby dále rostly nebo se dělily, proto se jeví jako logické, aby AMPK enzym byl schopný vypnout mTOR, k čemuž doopravdy dochází (González et al., 2020). Například pokud jsou před odporovým tréninkem prováděny opakované, vysoce intenzivní sprinty, které aktivují AMPK, následný odporový trénink neaktivuje mTOR do takové míry, jako když jsou sprinty prováděny až po odporovém tréninku (Coffey et al., 2009). V kontrastu s tímto zjištěním jsou výsledky jiné studie, která poukazuje na to, že AMPK nemá vliv na mTOR v období po tréninku (Lundberg et al., 2013). Tyto výsledky naznačují, že při kombinaci odporového a vytrvalostního tréninku může za určitých podmínek docházet k negativnímu vlivu na adaptace týkající se odporového tréninku. Tyto domněnky potvrdila i první meta-analýza zabývající se tímto tématem, kdy autoři zjistili, že provádění samotného odporového tréninku má za následek o 33 % větší hypertrofii a o 25 % větší nárůst síly než v případě souběžného silového a vytrvalostního tréninku (Wilson et al., 2012). To naznačuje, že souběžný silový a vytrvalostní trénink vede k nižší aktivaci mTORC1, nižší míře, proteosyntézy a následně negativně ovlivněné hypertrofii (Watson & Baar, 2014).

Od doby, kdy byla zmíněna meta-analýza publikována, bylo provedeno velké množství studií, týkajících se této problematiky. Jednotlivé experimentální studie byly následovány i několika systematickými přehledy s meta-analýzou, a postupně se začalo vnímání problematiky souběžného tréninku měnit. Následující kapitola bude věnována popisu souběžného silového a vytrvalostního tréninku, a stěžejní studii, která odstartovala zájem vědecké obce o tuto oblast.

2.5 Souběžný silový a vytrvalostní trénink

Souběžný silový a vytrvalostní trénink (z angl. Concurrent training, dále v textu pouze CT) je způsobem tréninku, kdy během periodizace tréninkového programu dochází ke kombinaci jednotek zaměřených na rozvoj silových i vytrvalostních schopností (Huiberts et al., 2024).

V současnosti drtivá většina sportů vyžaduje maximalizaci obou dimenzí (maximální silový výkon/rozvoj i maximální vytrvalostní výkon/rozvoj), proto tito sportovci musí během období přípravy zařazovat tréninkové jednotky s cílem maximalizovat rozvoj obou zmíněných schopností. Přístup k CT může být různý, může se jednat o jednu

tréninkovou jednotku, ve které jedinec provádí jak odporové, tak vytrvalostní cvičení, nebo mohou být tyto tréninkové jednotky podstupovány v jiných dnech (např. pondělí – odporový trénink, úterý – vytrvalostní trénink)(Coffey & Hawley, 2017; Hughes et al., 2018).

CT by však neměl být výsadou pouze sportovců usilujících o maximalizaci sportovního výkonu, ale kombinace odporového a vytrvalostního tréninku by měla být součástí životního stylu i obecné populace. Světová zdravotnická organizace doporučuje u dospělých osob 150 – 300 minut aerobní aktivity o střední intenzitě a minimálně 2x týdně cvičení pro posílení kosterního svalstva (WHO, 2021).

Důvodem, proč je z hlediska vědy a výzkumu CT zajímavým tématem, je takzvaný interferenční efekt (v literatuře také chronická interference nebo „concurrent training effect“). Interferenční efekt popisuje narušení adaptace na silový trénink, ke kterému může docházet během CT, tento jev byl ve vědecké práci poprvé dokumentován v roce 1980 (Hickson, 1980).

2.6 Interferenční efekt

Jak je zmíněno výše, v odborné literatuře je první zmínka o narušení adaptace na silový trénink během CT datována do roku 1980. Robert Hickson tehdy ve svém experimentu pozoroval narušení rozvoje síly u skupiny jedinců, kteří prováděli CT, v porovnání s jedinci, kteří podstupovali pouze odporový trénink (Hickson, 1980).

Podkladem pro výzkum byla pro Hicksona vlastní zkušenost. Byl silový trojbojař, který začal běhat s vedoucím laboratoře, kde pracoval. Přestože stále prováděl totožný odporový trénink jako před tím, než začal běhat, zpozoroval, že u něj dochází ke snížení svalové síly a množství svalové hmoty (Baar, 2014). Toto pozorování se poté snažil objasnit výzkumem.

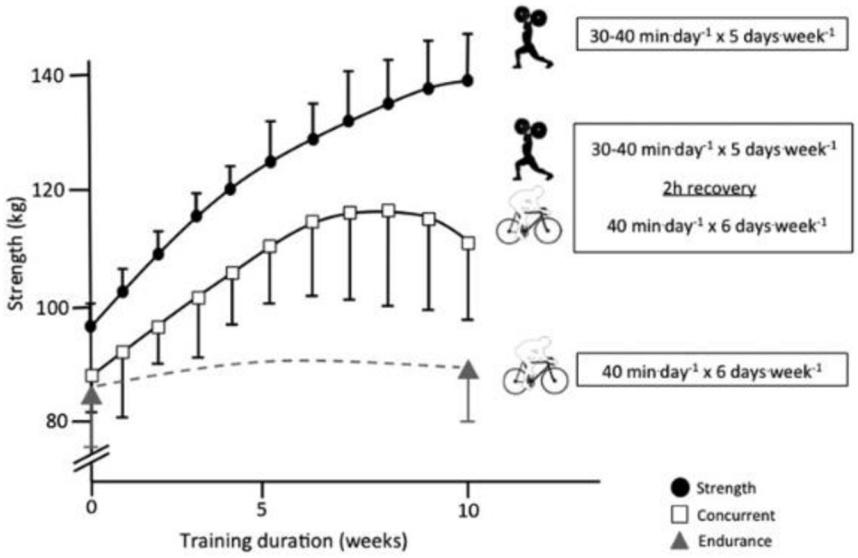
V rámci svého experimentu rozdělil 23 osob (muže i ženy) do tří skupin:

1. Odporový trénink (N=8, 7 mužů, 1 žena)
2. Vytrvalostní trénink (N=8, 5 mužů, 3 ženy)
3. Souběžný silový a vytrvalostní trénink (N= 7, 5 mužů, 2 ženy)

Jednalo se o rekreačně aktivní osoby, nikdo z nich však pravidelně netrénoval minimálně tři měsíce před započetím výzkumu. Protokol odporového tréninku byl nastaven na 5 tréninkových jednotek týdně a byl dle slov autora zaměřen primárně na rozvoj síly nohou. Vytrvalostní trénink byl založen na 6 tréninkových jednotkách týdně a zahrnoval intervalový trénink na bicyklovém ergometru. Skupina podstupující CT absolvovala oba zmíněné tréninky v nestandardizovaném pořadí s přestávkou mezi jednotkami, která se pohybovala v rozmezí 15 minut až dvou hodin. Výsledky byly zaměřeny na srovnání tělesné kompozice, maximálního příjmu kyslíku (VO_{2max}) a maximální síly. Po 10 týdnech tréninku došlo ke zvýšení VO_{2max} u skupin provádějící vytrvalostní trénink a CT (~25 % zvýšení při měření na kole, ~ 20 % zlepšení při měření na běhátku), u skupiny odporového tréninku k nárůstu nedošlo. U skupiny odporového tréninku bylo pozorováno konzistentní tempo rozvoje síly během sledovaného období. Tempo rozvoje síly bylo obdobné i u skupiny CT, ovšem pouze po dobu prvních 7 týdnů, poté došlo ke stagnaci a během posledních dvou týdnů došlo k poklesu síly. U skupiny vytrvalostního tréninku nedošlo ke změně v rámci svalové síly. Trend z hlediska rozvoje síly v rámci zmíněné studie je vyobrazen na obrázku č. 2 níže.

Na základě těchto výsledků autor dospěl k závěru, že CT snižuje míru rozvoje síly, přičemž nemá negativní vliv na zvýšení VO_{2max} (Hickson, 1980). Toto narušení silového rozvoje bylo autorem popsáno jako interferenční efekt.

Od té doby se touto problematikou zaobíralo velké množství studií, často s protichůdnými výsledky. Některé studie reportovaly výskyt interferenčního efektu (Häkkinen et al., 2003; Chtara et al., 2008; Rønnestad et al., 2012), další studie nikoliv (Baker, 2001; Glowacki et al., 2004), v rámci dalších došlo dokonce k synergickému efektu mezi vytrvalostním a odporovým tréninkem, což vedlo např. k větší míře svalové hypertrofie u CT nežli v rámci samotného odporového tréninku (Balabinis et al., 2003; Kazior et al., 2016; Lundberg et al., 2012).



Obrázek 2: Rozvoj svalové síly během CT, studie Hickson (1980), obrázek převzat z Perez-Schindler et al. (2015)

Tento rozpor v literatuře může být vysvětlen inter-individuálními rozdíly mezi probandy (např. genetické předpoklady, aktuální trénovanost), rozdílnostmi v experimentálním designu, tréninkovou intervencí (délkou, frekvencí tréninků, objemem tréninku, modalitou vytrvalostního tréninku apod.), dalším faktorem ovlivňujícím výskyt interferenčního efektu může být typ zkoumané proměnné (svalová hypertrofie, maximální síla, „*power*“) (Fyfe & Loenneke, 2018; Huiberts et al., 2024; Methenitis, 2018; Petré et al., 2021; Wilson et al., 2012).

Zmíněné proměnné, a jejich vliv na výskyt interferenčního efektu, budou popsány v následujících kapitolách.

2.6.1 Akutní a chronická hypotéza vzniku interferenčního efektu

V kontextu interferenčního efektu se často zmiňuje akutní a chronická hypotéza.

Akutní hypotéza je založena na předpokladu, že reziduální únava způsobena vytrvalostním tréninkem zhoršuje schopnost vyvinout svalové napětí během odporového tréninku. Přičemž schopnost vyvinout

svalovou tenzi je klíčová pro optimální silový rozvoj (Leveritt et al., 1999). Podporu pro negativní efekt aerobního tréninku provedeného těsně před (<15 minut) testováním silových schopností (max. síla, *power*) u trénovaných jedinců, poskytuje meta-analýza, která dospěla ke zjištění, že aerobní trénink negativně ovlivní následný silový výkon (SMD = 0.79, p = 0.003) avšak v rámci vlivu na *power* aerobní trénink neměl významný negativní vliv (SMD = 0.04, p = 0.846) (Markov et al., 2022).

Akutní hypotéza naznačuje, že samotná kombinace odporového a vytrvalostního tréninku nezpůsobuje interferenční efekt *per se*, spíše poukazuje na to, že je potřeba plánovat trénink tak, aby vytrvalostní trénink prováděný před silovým nenarušil kvalitu odporového tréninku (skrze snížení intenzity, nebo objemu práce) v důsledku přetrvávající centrální (narušení nervového impulzu – schopnosti mozku a míchy vysílat signály svalovým vláknům) i reziduální únavy (zhoršení spojení excitace a kontrakce) (Bentley et al., 2000; Lattier et al., 2004; Leveritt et al., 1999; Panissa et al., 2022).

Snížení celkového objemu práce vykonané během OT je problematické, jelikož objem práce je důležitou proměnnou pro nárůst svalové síly či hmoty (Krieger, 2010; Robbins et al., 2012; Schoenfeld et al., 2017). V souladu s akutní hypotézou jsou výsledky některých experimentálních studií a stejně tak i systematických přehledů a meta-analýz, které naznačují, že v rámci kombinace pořadí tréninkových jednotek, je pro rozvoj adaptace na odporový trénink (především z hlediska max. síly či *power* komponenty) výhodnější pořadí odporový trénink, následovaný vytrvalostním (Cadore et al., 2012; Eddens et al., 2018; Murlasits et al., 2018; Sporer & Wenger, 2003).

Je na místě dodat, že akutní únava i po odporovém tréninku může negativně narušit kvalitu a kvantitu následně prováděného vytrvalostního tréninku, kdy negativní vliv může přetrvávat až 72 hodin (Doma et al., 2017). Z toho by mohlo vyplývat, že pokud je během CT prováděn odporový trénink jako první, následován vytrvalostním tréninkem, z dlouhodobého hlediska by mohl CT negativně ovlivnit adaptaci na vytrvalostní složku tréninku, ovšem ve většině případů tomu tak není, rozvoj vytrvalostních adaptací obvykle utlumen není (Vikestad & Dalen, 2024; Wilson et al., 2012). V některých případech může zakomponování odporového tréninku (cíleného především na rozvoj maximální a explozivní síly) pomoci s vytrvalostním výkonem skrze zlepšení ekonomiky pohybu, zlepšení anaerobní kapacity či zvýšení laktátového prahu (Rønnestad & Mujika, 2014; Yamamoto et al., 2010).

Ačkoliv byla akutní hypotéza věnována velká pozornost různých výzkumných týmů, je jasné, že nevysvětluje všechny chronické adaptace vyvolané CT. Akutní hypotéza souvisí pouze se snížením výkonu (objemu, intenzity práce) během odporového tréninku, který je prováděn s krátkým časovým odstupem po vytrvalostním tréninku. Nepokrývá tedy problematiku CT, kdy jsou tréninky prováděny s větším časovým odstupem, v jiných dnech, či když je prováděn odporový trénink jako první, až poté následován vytrvalostním tréninkem (Panissa et al., 2022).

Chronická hypotéza navrhuje, že se během CT kosterní svalstvo dostává do konfliktní situace z hlediska adaptace na zatížení, která je v mnoha ohledech odlišná, a často opačná (Leveritt et al., 1999). Příkladem může být oxidativní kapacita svalstva, kdy vytrvalostní trénink zvyšuje množství oxidativních enzymů, mitochondriální a kapilární denzitu. Odporový trénink je oproti tomu asociován se sníženou kapilární a mitochondriální denzitou a snížením množství oxidativních enzymů, což vede k redukci oxidativní kapacity svalu (Berryman et al., 2018; Prieto-González & Sedlacek, 2022).

Během CT je tedy organismus, potažmo svalová hmota stimulována rozdílnými mechanismy, které by měly vést k adaptacím, jež jsou často v konfliktu, a sval není schopen se optimálně adaptovat na stimul poskytovaný odporovým respektive vytrvalostním tréninkem (Leveritt et al., 1999). Nesoulad v průběhu adaptace na CT může být způsoben například rozdíly z hlediska aktivace signálních drah, které vedou k následné adaptaci na zatížení, především se v literatuře diskutuje aktivace kináz mTOR a AMPK (Coffey & Hawley, 2017).

- Vzhledem k mechanismu interferenčního efektu byly navrženy dvě hypotézy, které se liší časovým průběhem, kdy dochází k efektu dochází
- Akutní hypotéza je spojena s tím, že VT proveden s nedostatečným časovým odstupem od OT, skrze únavu negativně ovlivní kvalitu (a kvantitu) OT
- Chronická hypotéza navrhuje, že z dlouhodobého hlediska je během CT kosterní svalstvo vystaveno rozdílným stimulům, které z adaptačního hlediska mohou mít protichůdný efekt, tím pádem kosterní svalstvo není schopno optimální adaptace

2.6.2 Je interferenční efekt lokální, nebo systémový jev?

Převládá myšlenka, že výskyt interferenčního efektu je lokálního rázu, to znamená, že se týká svalových skupin, které jsou primárně procvičovány během vytrvalostního tréninku i tréninku odporového. To podporují výsledky některých experimentálních studií, kde autoři zjišťovali vliv CT s použitím aerobního tréninku pro dolní polovinu těla – např. běh (Hennessy & Watson, 1994; A. Lee et al., 1990). V těchto studiích nedošlo k negativnímu vlivu na rozvoj silových parametrů horní poloviny těla. Svalově-specifický výskyt interferenčního efektu potvrzuje i původní meta – analýza Wilsona et al. (2012). Autoři popisují, že interferenční výskyt se projevil u testování dolní poloviny těla, nikoliv horní poloviny, poté, co jedinci podstoupili vytrvalostní trénink, kde byla dominantně zapojena dolní polovina těla (Wilson et al., 2012). Zmíněné výsledky naznačují, že je interferenční efekt lokální záležitostí, nikoliv systémovou.

V rozporu s tímto tvrzením je studie publikována v roce 2016, ve které se autoři zaměřili na porovnání odporového tréninku v kombinaci s cyklistickými sprinty a samotného odporového tréninku, vzhledem k nárůstu síly a hypertrofie horní části těla (Kikuchi et al., 2016). Autoři se zaměřili specificky na hypertrofii a sílu paží. Po 8 týdnech tréninku byl u skupiny RT pozorován signifikantní nárůst síly a hypertrofie ($p = 0.021$, $ES = 1.57$ a $p = 0.030$, $ES = 1.49$) u skupiny CT nebyla pozorována významná změna v nárůstu síly ani hypertrofie ($p = 0.110$, $ES = 1.01$ a 0.065, $ES = 1.19$). Limitujícím faktorem této studie a také interpretace těchto výsledků je, že studii absolvovalo pouze 12 osob (6 v každé skupině) a přestože velikost efektu byla v rámci skupiny CT „velká“ ($d = 1.01$ a $d = 1.19$) nedosáhla statistické významnosti. Přesto autoři vyvodili, že tato data naznačují, že CT může mít negativní vliv i na svalové skupiny, které nebyly přímo zapojené do vytrvalostního tréninku (Kikuchi et al., 2016). Rovněž Dolezal & Potteiger (1998) v rámci své studie pozorovali u skupiny CT (běžecký trénink) menší nárůst síly horní poloviny těla (bench-press) nežli u skupiny RT ($p < 0.05$) (Dolezal & Potteiger, 1998). Další studie taktéž reportovala interferenční efekt pro sílu horní poloviny těla u jedné ze skupin CT, která vytrvalost trénovala formou běhu, v této studii však k danému efektu došlo pouze u skupiny, která mezi OT a VT neměla žádnou přestávku. U dalších dvou skupin provádějících tréninky s 6 hodinovým respektive 24 hodinovým rozestupem negativní vliv na sílu v bench-pressu pozorován nebyl (Robineau et al., 2016).

Meta-analýza z roku 2018 ve statistické analýze pracuje mezi jinými i se studiemi zmíněnými výše (Kikuchi et al., 2016; Robineau et al., 2016),

v rámci interpretace výsledků autoři dospěli k závěru, že CT ve formě kombinace HIIT a OT nevede k signifikantnímu narušení rozvoje síly horní části těla (ES = 0.016, p = 0.927) (Sabag et al., 2018). Ačkoliv jednotlivé studie mohou na interferenční efekt z hlediska rozvoje svalové hmoty a síly horní poloviny těla poukazovat, obecně to vypadá, že z hlediska srovnání většího množství literatury, tento efekt mizí. Výskyt může být vázán na specifickou populaci, specifické protokoly CT, případně formu testování maximální síly.

- Dlouhodobě se studie zaměřují na to, zdali je interferenční efekt lokální, či systémový jev.
- Přestože některé studie poukazují na to, že k interferenčnímu efektu dochází i u svalových skupin, které nejsou přímo zapojeny do vytrvalostního tréninku, souhrnné analýzy se přiklání spíše k tomu, že je interferenční efekt vázán lokálně na svalové skupiny, které jsou primárně zatíženy během vytrvalostního tréninku.

2.6.3 Vliv trénovanosti jedince a délky tréninkové intervence

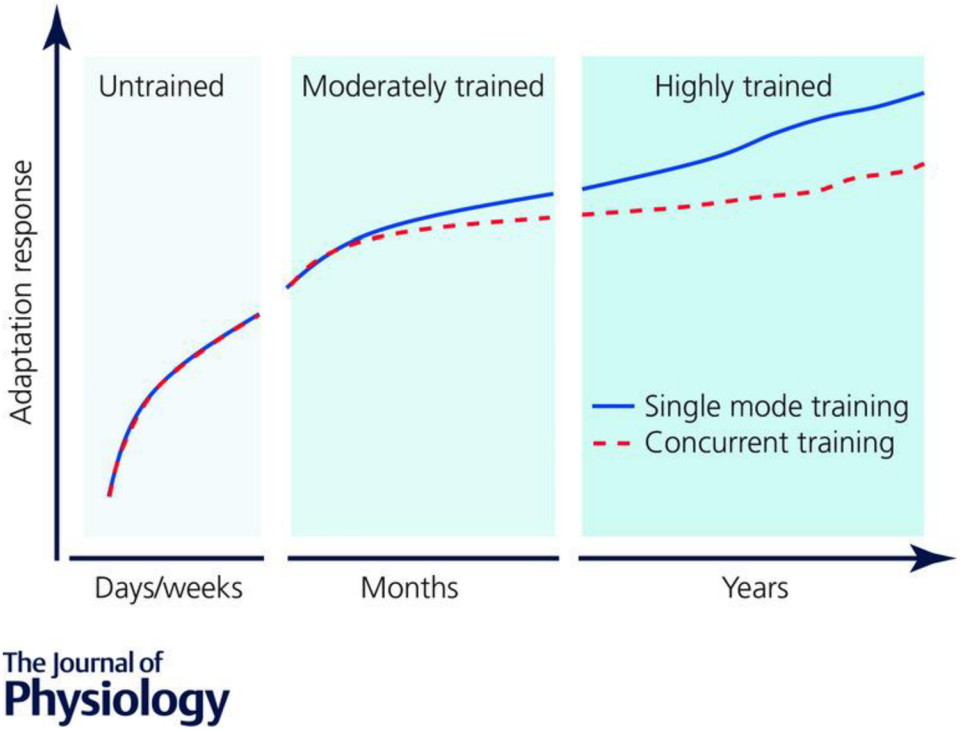
Trénovanost jedince zřejmě může ovlivnit adaptaci na CT. Někteří autoři tento faktor považují jako klíčový z hlediska interpretace studií týkajících se CT (Fyfe & Loenneke, 2018). Tréninkový status může ovlivnit jednak relativní velikost adaptace na CT, tak specifika akutní po-tréninkové signální odpovědi i dlouhodobé adaptace.

Adaptace na tréninkové zatížení je obecně chápana jako vysoce specifická pro daný způsob zátěže (tedy na odporový či vytrvalostní trénink) a akutně, na molekulární úrovni, indukuje specifické změny vedoucí k adaptaci (Hawley, 2009). Netrénovaní jedinci mají větší kapacitu pro aktivaci molekulární odezvy na kontraktilní aktivitu, jelikož i stimul o nízké intenzitě u nich může znamenat velké vychýlení z buněčné homeostázy, bez ohledu na to, o jaký typ cvičení se jedná (Coffey & Hawley, 2017). Především u netrénovaných jedinců může docházet k určitému „crossover“ efektu. To znamená, že po vytrvalostním tréninku dojde částečně k adaptaci, která je obvykle přisuzována odporovému tréninku a *vice versa*. Tento efekt podporují výsledky některých výzkumů, které reportují nárůst svalové hmoty poté, co byli dříve neaktivní jedinci

vystaveni stimulu v podobě vytrvalostního (především cyklistického) tréninku (Harber et al., 2009, 2012). V rámci těchto studií probandi absolvovali několikatýdenní vytrvalostní trénink na bicyklovém ergometru. Délka tréninku, intenzita a frekvence se během tohoto období progresivně zvyšovala (na konci intervence se jednalo o 45 min tréninku o intenzitě 85 % maximální tepové rezervy, 4x týdně) a po ukončení intervence došlo k významné míře svalové hypertrofie, která byla podobná u mladých i starších osob (Konopka & Harber, 2014). Je nutné zmínit, že se jednalo o nárůst svalové hmoty dolních končetin.

Vypadá to, že vysvětlení pro tyto výsledky přináší zpočátku nespecifická akutní signální odezva, která je v rámci netrénovaného svalu obdobná u různých stimulů (odporový vs. vytrvalostní trénink) (Fyfe & Loenneke, 2018). Právě molekulární odpověď vedoucí k aktivaci různých signálních drah, je mechanismem, jež spouští adaptaci na zatížení a vyústí v případnou (někdy i okem pozorovatelnou– např. nárůst svalového objemu) změnu fenotypu.

V rámci prvních dní/týdnů po začátku tréninku je svalová adaptace (včetně případných měřitelných znaků – např. max. síla) na zatížení podobná u jedno-druhového tréninku i CT. V tomto případě sensory vnímající stimul v podobě tréninku selhávají v rozlišení, o jaký stimul se jedná, a odpovědí je obecná adaptace. Jak trénink pokračuje, opakované, specifické zatížení vede ke generování specifičtější odpovědi, jež nakonec iniciuje změny v rámci fenotypu kosterního svalstva, které jsou specifické pro určitý typ tréninku (Coffey & Hawley, 2017). Změna fenotypu je spojena s potřebou větší tréninkové zátěže pro narušení homeostázy a navození další adaptace, což v důsledku může vést ke zhoršení reakce na CT ve srovnání s jedno-druhovým tréninkem. Jelikož v tomto bodě již každý typ tréninků (OT a VT) přináší specifické signály vedoucí k rozdílným adaptacím. Na základě tohoto modelu se adaptace na CT zhoršuje s rostoucí historií (délkou) tréninku a mírou předchozí adaptace (Coffey et al., 2006; Coffey & Hawley, 2017). Model, který popisují Coffey a Hawley (2017) je vyobrazen na obrázku č.3 níže.



Obrázek 3 Teoretický model průběhu adaptace a vlivu trénovanosti jedince, převzato z Caffey a Hawley, (2017).

Podporu tomuto modelu dodávají recentní poznatky, a to jak jednotlivé experimentální studie, tak především souhrnné meta-analýzy, které jsou nyní k dispozici.

V rámci jedné ze studií zkoumající molekulární odezvu u zprvu netrénovaných jedinců, došlo k obdobné aktivaci anabolických signálních drah (mTORC1) v zatíženém svalstvu u odporového i vytrvalostního tréninku (Wilkinson et al., 2008). Po 10 týdnech tréninku byla pozorována aktivace mTORC1 pouze po odporovém tréninku, nikoliv vytrvalostním. Tyto výsledky naznačují, že chronická aplikace stimulu v podobě tréninku o určité modalitě, modifikuje odpověď funkčních proteinových frakcí směrem k fenotypově specifické adaptaci (Wilkinson et al., 2008).

Systematický přehled s meta-analýzou, zkoumající vliv trénovanosti na výsledky CT, shrnuje výsledky experimentálních intervenčních studií následovně. CT v porovnání s odporovým tréninkem narušuje rozvoj maximální síly dolních končetin u trénovaných jedinců (ES = – 0.35, 95% CI – 0.59 do – 0.11; $p < 0.01$), nikoliv u netrénovaných (ES = 0.03, 95% CI – 0.29 do 0.35; $p = 0.87$) a středně trénovaných (ES = – 0.20, 95% CI –

0.42 do 0.02; p = 0.08) jedinců (Petré et al., 2021). Sami autoři zmiňují, že trend narušení adaptace (narušení rozvoje max. síly dolních končetin) byl pozorován i u středně trénovaných osob ES= - 0.2 (ačkoliv nedosáhl statistické významnosti, p = 0.08). V rámci sub-analýzy autoři zjistili, že narušení rozvoje síly u trénovaných jedinců je výraznější, pokud jsou odporový a vytrvalostní trénink prováděny v jedné tréninkové jednotce (s přestávkou < 20 minut mezi tréninky) (Petré et al., 2021).

Jako možné vysvětlení častějšího výskytu interferenční efektu utrénovaných, může být fakt, že trénovaní jedinci mají menší potenciál pro další adaptaci a potřebují specifičtější trénink pro pokračující zlepšování výkonnosti (Peterson et al., 2005; Petré et al., 2021). Obdobně v rámci specifických signálů na molekulární úrovni studie poukazují na to, že např. hlavní regulátor procesu svalové proteosyntézy a následně svalové hypertrofie mTORC1 může být negativně ovlivněn během CT u trénovaných, nikoliv u netrénovaných jedinců (Fyfe et al., 2018). Je nutné brát zřetel na to, že vzhledem ke komplexnosti adaptace na zatížení, není možné tento vliv na jednu specifickou signální kaskádu považovat za jediný faktor zodpovědný za narušení adaptace během CT u trénovaných jedinců (Coffey & Hawley, 2017).

Další meta-analýza poskytla výsledky, které jsou v některých aspektech v kontrastu s předchozí analýzou autorů Petré et al. (2021). V této meta-analýze byl rovněž posuzován vliv CT v porovnání s jedno-druhovým tréninkem na různé ukazatele (svalová síla, hypertrofie, *power*, VO_{2max}). Zde však autoři rozdělili stupeň trénovanosti také dle toho, v jakém sportu jedinci určitého tréninkového statusu dosáhli (tedy zda byli trénovaní ve vytrvalostním nebo silovém sportu). Takto poté vznikly dvě oddělené analýzy týkající se vlivu tréninkového statusu u vytrvalostních nebo silových sportovců podstupujících CT (Huiberts et al., 2024).

Co bylo zajímavé a v rozporu s očekáváním, byl vliv CT na VO_{2max} při sub-analýze podle toho, jaký byl tréninkový status probandů v oblasti vytrvalostního tréninku. Jelikož k negativnímu vlivu CT došlo pouze u netrénovaných jedinců (SMD: – 0.35), nikoliv u středně trénovaných nebo trénovaných (Huiberts et al., 2024). Autoři se tento efekt snaží vysvětlit tím, že u netrénovaných osob mohlo dojít k větší míře svalové hypertrofie po CT, a vzhledem k tomu, že velikost svalových vláken je inverzně asociována s oxidativní kapacitou, mohlo u těchto jedinců dojít k negativnímu vlivu CT na VO_{2max} (Huiberts et al., 2024; van der Zwaard et al., 2018).

Délka tréninkové intervence může být dalším aspektem ovlivňujícím výskyt interferenčního efektu. Limitací většiny studií z oblasti CT je jejich délka, která se nejčastěji pohybuje od 5 do 20 týdnů (Methenitis, 2018). Doposud nelze říci, po jak dlouhé tréninkové intervenci se zvyšuje riziko výskytu interferenčního efektu. Interferenční efekt byl pozorován u studií velmi krátkého trvání – např. 6týdenní intervence (Jones et al., 2016), na druhou stranu se interferenční efekt neprojevil po 16 týdnech intervence v jiné studii (Libardi et al., 2012). V původní práci Hicksona byl pozorován útlum adaptace již od 7. týdne, ve studii byl však použit velmi intenzivní tréninkový protokol (Hickson, 1980). Lze pouze předpokládat, že velmi dlouhé tréninkové intervence, mající vysokou frekvenci OT a VT (s vysokým objemem práce), kumulují velké množství únavy, které může vyústit v interferenci z hlediska rozvoje silových schopností, avšak doposud se jedná pouze o spekulace (Methenitis, 2018).

Délka tréninkové intervence je z části spojena s trénovaností jedince, jelikož po určité době intervence (tréninku) může být jedinec, který je zpočátku charakterizován jako „netrénovaný“, chápan jako trénovaný. Důležitá otázka, na kterou je potřeba odpovědět, je: Po jak dlouhém období lze jedince považovat za „trénovaného“ v dané cvičební modalitě? (Fyfe & Loenneke, 2018).

V rámci klasifikace jedinců v oblasti sportovního výzkumu prozatím nepanuje soulad. To lze doložit výsledky některých studií, které se tímto zaobíraly. Například analýza publikací, ve kterých autoři označují probandy jako „elitní“ napříč různými sporty, zjistila, že toto označení se používalo pro sportovce účastnících se soutěží na národní úrovni, stejně tak pro sportovce na medailových umístěních v rámci největších mezinárodních soutěžích (Swann et al., 2015). Z toho je patrný nesoulad v rámci označení sportovní výkonnosti. Stejně problematické může být označování jako „trénovaný“, „vysoce trénovaný“, „dobře trénovaný“, kdy toto označení je ve studiích také často užíváno a váže se nejčastěji na obecnou tréninkovou zátěž probanda, jeho tréninkovou historii a záměr, za jakým trénink podstupuje (McKay et al., 2021).

Prvním krokem, v rámci určování trénovanosti jedince je často délka období, po které jedince pravidelně danou aktivitu vykonával (tedy odporový, nebo vytrvalostní trénink). Případně bývá trénovanost usuzována z míry adaptace na typ tréninku, který vykonával (např. úroveň maximální síly, svalové hypertrofie, VO_{2max})(Buckner et al., 2017). Někteří autoři v rámci inkluzivních kritérií ve svých výzkumech požadují

pro „trénované“ jedince 1 RM pro dřep 1.25násobek tělesné hmotnosti (pro osobu o hmotnosti 80 kg by to bylo 100 kg) a v případě bench-pressu 1 RM alespoň o hmotností odpovídající tělesné hmotnosti (80 kg pro jedince vážícího 80 kg) (Klemp et al., 2016). Jiní autoři v rámci kritérií zmiňují i minimální zkušenost s daným typem tréninku (například alespoň 2 roky), doplněné o body z Wilskova koeficientu (ten počítá s relativním výkonem, ve vztahu k pohlaví a tělesné hmotnosti) (Zourdos et al., 2016).

Problematika „trénovanosti“ je často jednorozměrná – jedinec je netrénovaný, trénovaný nebo vysoce trénovaný. Ovšem tato charakteristika zapomíná na to, že někdo, kdo začíná s CT může být v rámci jednoho sportu vysoce trénovaný, v rámci druhého netrénovaný (Huiberts et al., 2024). To může být příklad u maratónského běžce, který je vysoce trénovaný v rámci vytrvalosti, ale může být relativně netrénovaný v rámci maximální síly.

Další komplikace s určením trénovanosti může být způsobena typem testu, kterým je trénovanost určena. Změny maximální síly jsou závislé jak na intenzitě, tak na dovednosti (v rámci specifického cviku). Svalové hypertrofie v rámci svalové skupiny může být vyvolána mnoha různými cviky, ovšem k největšímu nárůstu síly dojde u cvičení, které je prováděné v tréninkovém programu, což splňuje jeden ze základních principů tréninku, kterým je specifičnost (Fyfe & Loenneke, 2018; Stone et al., 2022). Pokud je například testování maximální síly prováděno pomocí dřepů, v tréninkovém programu by měl být dřep zakomponován. Obdobně v rámci testování aerobní výkonnosti (typicky VO_{2max}), běžci dosahují lepších hodnot při testování na běžeckém páse, než na kole (a *vice versa*) a proto je i u nich vhodné testování přizpůsobit specificky pro jejich primární sport/pohyb (Caputo & Denadai, 2004). Souhrnně lze říci, že z hlediska délky tréninkové intervence není znám kritický bod, kdy dochází k tomu, že je interferenční efekt dostatečně silný (a projeví se v rámci statistické analýzy). Existuje i provázanost s trénovaností jedince, jelikož u netrénovaných jedinců může dostatečně dlouhá tréninková intervence vést k nezaznamenané změně statusu na „trénovaný“. Na základě dostupné evidence však nelze vyvodit, že by s prodlužující se délkou tréninkové intervence automaticky zvyšovala pravděpodobnost výskytu interferenčního efektu.

- Tréninkový status jedince může ovlivnit míru adaptace na CT, případně interferenční efekt.
- Netrénovaní jedinci obvykle mívají větší kapacitu pro adaptaci na trénink, přičemž může docházet i k crossover efektu, kdy VT navodí adaptace specifické pro OT (například. Zvýšení síly nebo svalové hmoty) a vice versa (OT zvýší oxidativní kapacitu).
- U trénovaných jedinců se výskyt interferenčního efektu pozoruje častěji, zřejmě z důvodu již částečně vyvinutého svalového fenotypu, který se následně nedokáže optimálně přizpůsobit během CT
- Dlouhé tréninkové intervence, kumulující velký počet tréninkových jednotek mohou vést k hromadění únavy, která poté negativně ovlivní jak kvalitu a kvantitu práce během tréninku, tak následnou adaptaci.
- Studie prozatím nedokáží identifikovat, zda existuje „hranice“ délky intervence, kdy je výskyt interferenčního efektu častější
- Délka intervence je spojena s tréninkovým statusem jedince, který se u některých delších intervencí může změnit z „netrénovaný“ na „trénovaný“

2.6.4 Vliv frekvence tréninků

Tréninkové snažení, a výskyt interferenčního efektu, může být ovlivněno rovněž frekvencí tréninků. Frekvencí je chápán počet tréninkových jednotek (vytrvalostních i silových) během období jednoho týdne. Již meta-analýza Wilsona et al. (2012) zjistila významnou negativní korelaci mezi frekvencí vytrvalostních tréninků a svalovou hypertrofii ($r= -0.26$; $p <0.05$), svalovou sílou ($r= -0.31$; $p < 0.05$) a *power* ($r= -0.35$; $p < 0.05$) během CT. Autoři proto doporučují omezit frekvenci vytrvalostních tréninků do 3 tréninkových jednotek týdně (Wilson et al., 2012). Vliv rozdílné frekvence vytrvalostního tréninku (a celkového poměru odporového a vytrvalostního tréninku) zjišťoval Jones et al. (2013). Autoři náhodně rozdělili 24 trénovaných mužů do 4 skupin:

1. Pouze odporový trénink (RT)
2. Odporový trénink a vytrvalostní trénink v poměru 3:1 (CT3)
3. Odporový trénink a vytrvalostní trénink v poměru 1:1 (CT1)
4. Bez tréninku

Participanti ve skupině RT prováděli odporový trénink 3x týdně. V rámci CT3 prováděli jedinci odporový trénink 3x týdně a každou třetí tréninkovou jednotku doplnili vytrvalostním tréninkem. Probandi ve skupině CT1 také prováděli odporový trénink 3x týdně a každý trénink byl následován jednotkou vytrvalostního tréninku. Délka intervence byla 6 týdnů.

Autoři dospěli k závěru, že odporový trénink 3x týdně po dobu 6 týdnů zvýšil svalovou sílu a obvod dolní končetiny, dále zjistili, že CT zlepšil svalovou vytrvalost. Nicméně v rámci skupin CT3 a CT1 došlo k negativnímu vlivu CT na svalovou sílu a svalový růst, přičemž byl pozorován vztah mezi mírou negativního efektu a frekvencí tréninku – vyšší frekvence vytrvalostního tréninku = výraznější negativní vliv (Jones et al., 2013). I v rámci pozdější studie ze stejné laboratoře autoři dospěli ke zjištění, že CT negativním způsobem ovlivňuje maximální sílu (pouze však u skupiny vysoké frekvence vytrvalostního tréninku – 3x týdně, nikoliv u skupiny, která implementovala vytrvalostní trénink 1x týdně). U ukazatele *power* dolních končetin (výskok z protipohybu) byl pak nárůst výkonnosti negativním způsobem ovlivněn u obou skupin CT (Jones et al., 2016). Obdobně v další studii, kde byl odporový trénink prováděný 3x týdně, doplněn vytrvalostním tréninkem 3x týdně (po dobu 12 týdnů), došlo k útlumu rozvoje svalové síly dolních končetin u skupiny podstupující CT (Bell et al., 2000).

V jedné ze studií, ve které byla frekvence vytrvalostních tréninků nastavena na 2 jednotky týdně (po dobu 21 týdnů), nebyl interferenční efekt pozorován u rozvoje svalové hypertrofie ani maximální síly, byla však narušena rychlost rozvoje síly (rate of force development, RFD) (Häkkinen et al., 2003). V další studii implementující v rámci skupiny CT 3x týdně odporový trénink a 2x týdně vytrvalostní trénink, nedošlo po 12 týdnech intervence k narušení žádné ze složek adaptace na odporový trénink (Glowacki et al., 2004). Někteří autoři proto přišli se snahou navrhnout optimální poměr OT:VT během CT a naznačují, že poměr 2:1 a 3:1 (OT:VT), by mohl být z hlediska maximalizace adaptací na OT ideální (Methenitis, 2018).

V rámci studie autorů Jones et al. (2013), která jako jediná ze zmíněných porovnávala různé frekvence vytrvalostního tréninku během CT, však nebyl standardizován objem práce v rámci vytrvalostního tréninku. Je tedy možné, že negativní vliv byl zprostředkován nadměrným objemem práce, nikoliv zvýšenou tréninkovou frekvencí (která je často činitelem, díky kterému je možné zvýšit tréninkový objem). Rovněž v rámci již zmíněné meta-analýzy byl nalezen významný vztah mezi adaptací na odporový trénink (ES pro sílu, hypertrofii a *power*) a délkou vytrvalostního tréninku ($r = -0.75$; $p < 0.05$) kdy s rostoucí délkou vytrvalostního tréninku/den klesal ES pro sílu, svalovou hypertrofii i *power* (Wilson et al., 2012).

V souladu s uvedenými výsledky i další autoři doporučují minimalizaci celkového objemu práce v rámci tréninku (především skrze manipulaci s frekvencí tréninků) pokud je cílem minimalizace interferenčního efektu (Murach & Bagley, 2016). V kontrastu s tímto doporučením jsou však výsledky meta-analýzy autorů Schumann et al (2022), ve které v rámci hledání moderující proměnné nebyl zaznamenán rozdíl ve výskytu interferenčního efektu u frekvence tréninků <5 jednotek týdně a > 5 jednotek týdně (Schumann et al., 2022). V rámci této analýzy však autoři počítali tréninky v rámci obou modalit, nikoliv počet tréninkových jednotek vytrvalostního tréninku samotného, tak jako to bylo v rámci studie Jones et al. (2013). Pokud by objem tréninku byl tím klíčovým faktorem v rámci interferenčního efektu, možná by určitou výhodu mohl poskytnou HIT (vysoce intenzitní trénink – z angl. High-intensity training), který je obecně spojen s nízkým pracovním objemem (Fyfe et al., 2014).

- Zvýšená frekvence tréninků (především vytrvalostních) během CT může být spojena s interferenčním efektem, na což poukázala už původní meta-analýza Wilsona et al. (2012).
- Frekvence tréninku je často „nositelem“ objemu práce, tudíž zvýšená frekvence může vést tréninkovému objemu, který je již nad regenerační schopnosti jedince, u kterého poté může dojít k negativnímu vlivu na adaptaci během CT.
- Pro minimalizaci interferenčního efektu bývá doporučováno držet frekvenci VT do 3x týdně.

2.6.5 Vliv intenzity vytrvalostního tréninku

Zdá se, že intenzita, jakou je prováděn vytrvalostní trénink během CT má také vliv na případný výskyt interferenčního efektu. Vysoce intenzivní intervalový trénink (z angl. High-intensity interval training, dále pouze HIIT) se jeví jako velmi efektivní cesta pro zvýšení VO_{2peak} a zlepšení kardiovaskulárního zdraví (Karlsen et al., 2017). HIIT je charakteristický opakovanými úseky vysoce intenzivní aktivity (typicky ≥80% maxima tepové frekvence - HR_{max}), které jsou proloženy krátkými obdobími odpočinku nebo aktivity o nízké intenzitě (O'Leary et al., 2017).
V porovnání s kontinuálním vytrvalostním tréninkem o střední intenzitě může dokonce některé ukazatele důležité pro vytrvalostní výkon ovlivnit do větší míry (O'Leary et al., 2017). Z tohoto důvodu je HIIT často zařazován také do protokolů CT.

HIIT může zvýšit požadavky na ATP až stonásobně oproti potřebě ATP v klidu (Murach & Bagley, 2016). Teorie říká, že zvýšená poptávka po ATP, případně zvýšení poměru AMP/ATP v buňce vede k aktivaci AMPK (adenosinmonofosfát-aktivovaná proteinová kináza), čím vyšší je intenzita vytrvalostní aktivity, tím vyšší je míra aktivace AMPK (Fyfe et al., 2014). AMPK skrze navazující signální dráhy aktivuje další enzymy, jež poté inhibují aktivitu mTOR, což by mohlo negativním způsobem ovlivnit proteosyntézu a následnou adaptaci na trénink, především, pokud by k tomu docházelo s krátkým časovým odstupem od odporového

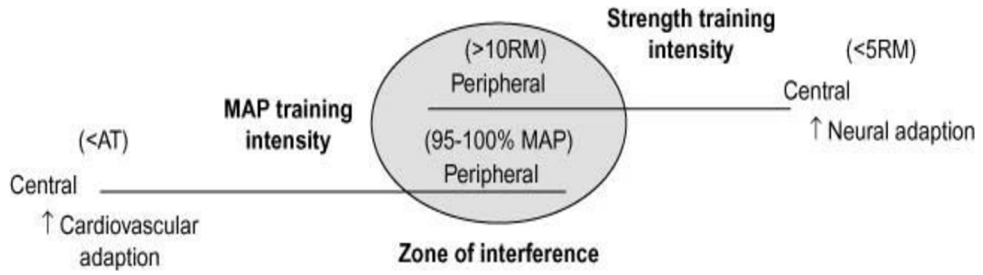
tréninku (Egan & Zierath, 2013; Methenitis, 2018; Murach & Bagley, 2016). To by v praxi znamenalo, že se takto intenzivní vytrvalostní trénink negativně propíše do adaptace na odporový trénink, skrze snížení MPS a následně svalové hypertrofie a síly.

V roce 2000 byla publikovaná studie, jejíž cílem bylo navržení modelu, v rámci kterého, manipulace s intenzitou odporového i vytrvalostního tréninku zvyšovala/snižovala riziko interferenčního efektu (Docherty & Sporer, 2000).

Model, který autoři navrhli je zobrazen na obrázku č. 4 níže. Model navrhuje, že pokud je vytrvalostní trénink prováděn o vysoké intenzitě (95-100 % $VO2_{max}$) při použití HIIT protokolu, a odporový trénink prováděn o sériích s více než 10 opakováními, dochází k útlumu rozvoje síly a hypertrofie („zone of interference"). Autoři to zdůvodňují tak, že během tréninku může docházet k adaptaci na centrální úrovní, nebo na periferii. Při nízkých intenzitách vytrvalostního tréninku má docházet k adaptaci především na centrální úrovni, oproti tomu adaptace na periferii by měla být vyvolána stavem svalové hypoxie během vytrvalostního tréninku o vysoké intenzitě. Adaptace centrální by měla zahrnovat např. změny na úrovní plicní difúze nebo hemoglobinu, periferní pak změny na úrovní oxidativních enzymů, svalové kapilarizace nebo mitochondrií (Docherty & Sporer, 2000).

U odporového tréninku by měl stimul v podobě vysoké intenzity (4–6 RM) vyústit v nárůst maximální volní kontrakce (maximální síly) s absencí signifikantní svalové hypertrofie. Tyto změny jsou přisuzovány adaptaci na neurální úrovni. O něco nižší intenzita (~ 8-12 RM) na základě tohoto modelu způsobuje zvýšení svalové hmoty skrze stimulaci MPS (svalové proteosyntézy). V tomto případě je svalová hypertrofie adaptací periferní (úroveň kosterního svalstva), zvýšení síly centrální (úroveň neurální) (Docherty & Sporer, 2000).

Na základě tohoto modelu může pro obě rozdílné modality souběžně probíhat adaptace na centrální úrovni, ovšem nekompatibilní se adaptace mohou stát, pokud je trénink nastaven tak, že dochází ke stimulaci především periferních adaptací na úrovni svalových vláken. V takovém případě se totiž od svalu vyžaduje, abys se adaptoval výrazně odlišnými anatomickými a fyziologickými systémy, které jsou často v protikladu.



Obrázek 4: Model interference navržen autory Docherty & Sporer, 2000

MAP – maximální aerobní výkon; AT – anaerobní práh

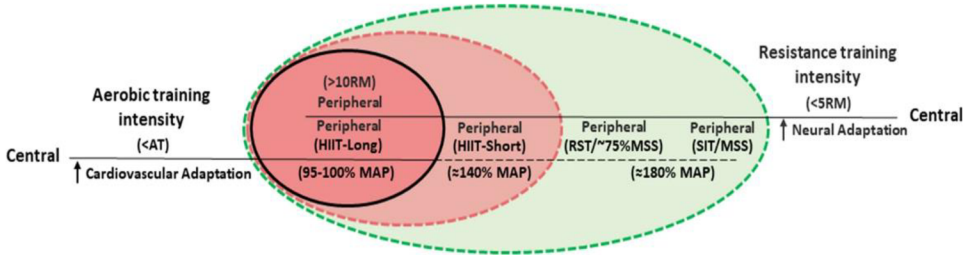
Intenzitou tréninku (nejen vytrvalostního, ale také odporového) se zabýval systematický přehled publikovaný v roce 2019. Autoři shrnuli, že v rámci zařazených studií došlo ke zvýšení silového i vytrvalostního výkonu nezávisle na intenzitě odporového i vytrvalostního tréninku (Sousa et al., 2019). Autoři nicméně dodávají, že byl pozorován určitý trend pro znatelnější zlepšení neuromuskulárního výkonu při kombinaci odporového tréninku s vyšší zátěží a vytrvalostního tréninku o nízké až střední intenzitě. Oproti tomu, k výraznějšímu zlepšení aerobních ukazatelů docházelo při použití vytrvalostního tréninku o vysoké intenzitě, nezávisle na intenzitě odporového tréninku (Sousa et al., 2019). Trend favorizující vytrvalostní trénink o nízké až střední intenzitě je v rozporu s výsledky meta-analýzy z roku 2012, kdy autoři na základě svých výsledků doporučovali zařazení vytrvalostní aktivity o vysoké intenzitě, jelikož u protokolů, které zahrnovaly tento typ tréninku docházelo k slabšímu negativnímu efektu na hypertrofii, sílu či *power* (Wilson et al., 2012).

Jiná, novější meta-analýza, se soustředila výhradně na kompatibilitu HIIT a odporového tréninku, v porovnání se samotným odporovým tréninkem (Sabag et al., 2018). Na základě analýzy autoři vyvodili, že CT v podobě HIIT a odporového tréninku vedlo ke stejné míře svalové hypertrofie a stejné míře nárůstu síly horních končetin jako odporový trénink. Na druhou stranu CT vedl k menšímu nárůstu svalové síly dolních končetin (ES = -0.248, p = 0.049) nežli odporový trénink samotný. Sub – analýza výsledků pak naznačila trend, kdy síla dolních končetin byla kompromitována, pokud byl HIIT protokol prováděn spíše na kole (ES = -0.377, p = 0.074) nežli v rámci běhu (ES = -0.176, p = 0.261).

Na práci autorů Sabag et al. (2018) navázal další autorský kolektiv, který jednak znovu analyzoval studie, zahrnuté v zmíněné meta-analýze,

k tomu přidali ještě další dvě studie, které autoři dohledali v rámci vyhledávacího procesu (Vechin et al., 2021). Pohnutkou pro to byl fakt, že Sabag et al. (2018) nevzali v potaz zóny preskripce HIIT, jako moderující proměnnou případného interferenčního efektu. Autoři dospěli k závěru, že pouze v rámci tří analyzovaných studií došlo k útlumu rozvoje síly při CT v porovnání s odporovým tréninkem (Vechin et al., 2021). Společným znakem těchto studií bylo, že mezi tréninkovými jednotkami HIIT a odporovým tréninkem buďto nebyl zahrnut interval odpočinku, nebo byl pouze v době trvání 15 minut. To je důležité, jelikož časová proximita tréninků může sehrávat významnou roli při výskytu interferenčního efektu (Panissa et al., 2022).

Na základě současné (aktualizované) evidence Vechin et al. (2021) doporučují úpravu modelu, původně navrženého autory Docherty & Sporer (2000), jelikož intenzivnější protokoly HIIT (ve formě RST – repeated sprint training a SIT – sprint interval training) zřejmě nenaruší rozvoj síly, kdežto dlouhé a krátké HIIT protokoly tento adaptační proces narušit mohou (Vechin et al., 2021). Upravený model je znázorněn na obrázku č. 5 níže a je věnován interferenčnímu efektu v rámci rozvoje síly.

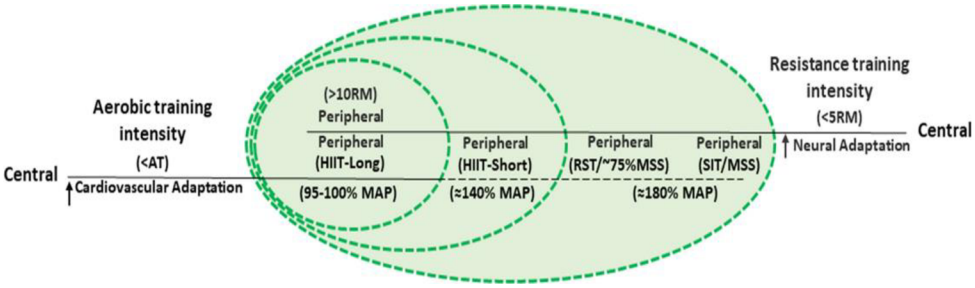


Obrázek 5: Upravený model interferenčního efektu (Vechin et al., 2021).

Růžová oblast ohraničená nepřerušovanou linií je původní zóna interference. Růžová oblast ohraničená přerušovanou linií je zóna „částečné" interference. Zelená oblast vyobrazuje oblast, ve které k interferenci nedochází.

V rámci úpravy modelu se autoři věnovali rovněž vlivu CT, a především různých HIIT protokolů, na svalovou hypertrofii. Na základě dostupné evidence následně vyvodili, že z hlediska rozvoje svalové hypertrofie při kombinaci HIIT/SIT protokolů s odporovým tréninkem nedochází k interferenčnímu efektu a na základě toho je možné použít libovolné kombinace HIIT a OT protokolu bez negativního vlivu na svalovou

hypertrofii (Vechin et al., 2021). Model interferenčního efektu, věnovaný rozvoji svalové hypertrofie, je zobrazen na obrázku č. 6.



Obrázek 6: Upravený model interferenčního efektu z hlediska rozvoje svalové hypertrofie

Zelená oblast vyznačuje zónu, ve které nedochází k interferenčnímu efektu.

- Intenzita vytrvalostního tréninku může ovlivnit výskyt interferenčního efektu
- HIIT/SIT/RST může být vzhledem k časové úspoře vhodnou alternativou k vytrvalostnímu tréninku o střední intenzitě
- Meta-analýza zabývající se kompatibilitou HIIT a OT v rámci CT naznačila negativní vliv na rozvoj max. síly, autoři dále pozorovali trend, kdy silnější negativní vliv byl pozorován, pokud byl VT prováděn na kole, nikoliv skrze běh (Sabag et al., 2018)
- Někteří autoři naznačují, že čím kratší a intenzivnější bude vytrvalostní trénink, tím menší bude pravděpodobnost interferenčního efektu

2.6.6 Vliv modality vytrvalostního tréninku

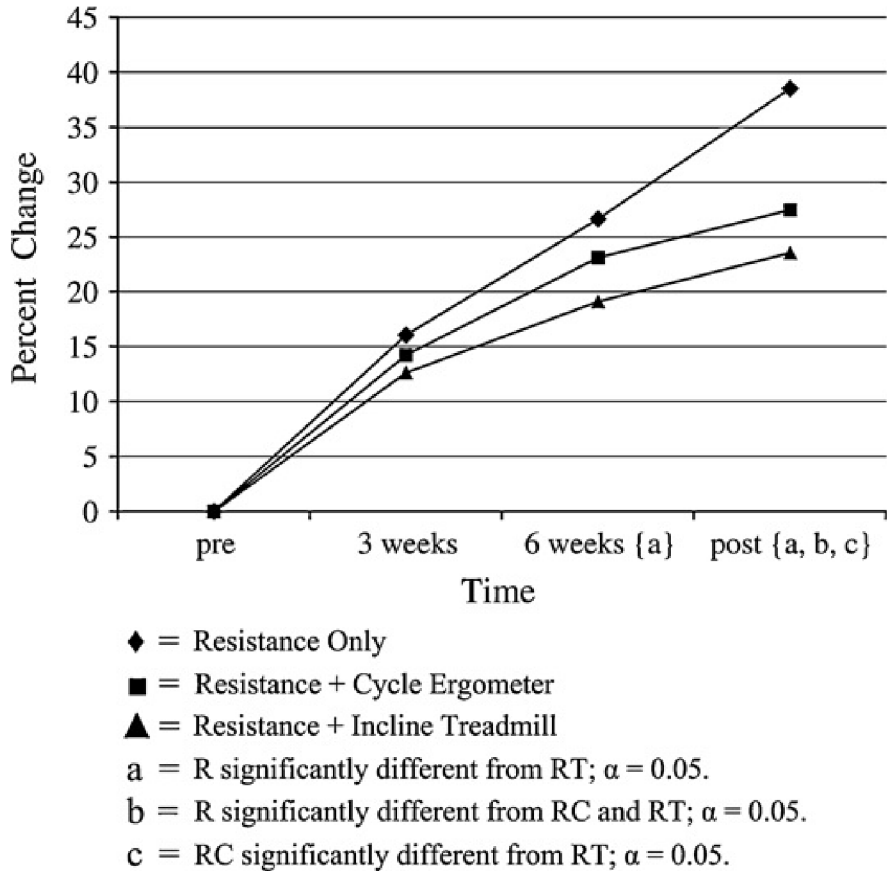
Typ vytrvalostní aktivity (např. běh, cyklistika, veslování) zřejmě může ovlivnit výsledky CT a případný výskyt interferenčního efektu. Toto naznačila meta-analýza z roku 2012. V rámci sub-analýzy výsledků autoři rozdělili studie podle toho, zdali byl v rámci CT zařazen běh, nebo kolo. Následně dospěli k závěru, že CT při zařazení běhu vedl k významnému negativnímu efektu na rozvoj síly i hypertrofie, u CT kdy byl zařazen cyklistický trénink, tento efekt pozorován nebyl (Wilson et al., 2012). Recentní meta-analýza, která se zabývala kompatibilitou odporového tréninku s HIIT z pohledu svalové hypertrofie a síly však přinesla odlišné výsledky. V případě této sub-analýzy, velikost efektu poukázala na trend výskytu interferenčního efektu u HIIT v podobě cyklistického tréninku (ES = -0.377, p = 0.074) spíše nežli u tréninku, kdy byl zařazen běh (ES = -0.176, p = 0.261), ovšem při porovnání průměrů skupin pomocí Z-testu zde nebyl nalezen signifikantní rozdíl (Sabag et al., 2018).

Wilson et al. (2012) navrhovali, že rozdíly v rámci výsledků u různých modalit vytrvalostního tréninku mohou být zapříčiněny např. větší mírou excentrické zátěže při běhu, během které může docházet k větší míře svalového poškození. Ovšem je nutno dodat, že s narůstajícím počtem tréninku obecně dochází k menší míře svalového poškození, tento obranný efekt byl nazván „repeated bout effect“ (McHugh, 2003). Ačkoliv mechanismus tohoto obranného efektu není ještě zcela dobře popsán, recentní studie zmiňuje možná vliv neurální adaptace, re-modelaci extracelulární matrix nebo snížení zánětlivé reakce (Hyldahl et al., 2017). Jiným faktorem, který by mohl být příčinou rozdílu mezi modalitami je množství zapojených svalových skupin. Jelikož obecně při běhu dochází k zapojení většího množství svalových skupin než u cyklistiky, může docházet k větší míře metabolického stresu, který by mohl stát v pozadí daného rozdílu mezi během a cyklistikou v procesu CT (Hamilton & Philp, 2013).

Rozpor mezi dvěma výše zmíněnými meta-analýzami může být zapříčiněn také tím, že autoři Sabag et al. (2018) do své analýzy zahrnuli pouze studie, ve kterých byl v rámci vytrvalostní aktivity implementován HIIT protokol. Nevýhodou tohoto srovnání je rovněž to, že je nedostatek studií, které přímo v rámci experimentálního designu zjišťovaly vliv dvou rozdílných CT (s různou modalitou vytrvalostní aktivity) se samotným odporovým tréninkem (Gergley, 2009; Mathieu et al., 2022; Panissa et al., 2015; Silva et al., 2012). Podle mého nejlepšího vědomí to byly pouze dvě dlouhodobé studie, další pak zjišťovaly akutní vliv různých

modalit VT na následný OT. Toto nízké číslo není příliš překvapivé, jelikož v rámci tohoto designu jsou díky třem intervenčním skupinám zvýšené nároky jak na počet probandů (aby byla zabezpečena dostatečná velikost vzorku), tak i na přístrojové vybavení a časové možnosti výzkumných týmů.

Vliv dvou různých modalit (běžecký pás, cyklistický ergometr) u mladých mužů i žen (n = 30, věk 18-23) během 9týdenního CT porovnával Gergley (2009). V rámci této studie autor dospěl k závěru, že obě skupiny podstupující CT (běžecký pás i cyklistický ergometr) zaznamenaly signifikantní útlum v nárůstu svalové síly v porovnání se skupinou samotného odporového tréninku. Dalším zjištěním bylo, že útlum byl znatelnější u skupiny, která absolvovala CT na běžeckém páse při porovnání se skupinou CT, která trénink absolvovala na cyklistickém ergometru (procentuální rozdíl v nárůstu maximální síly v leg-pressu byl ~ 4 %, 27.48 % vs 23.53 %). Z grafického znázornění rozvoje síly je patrné, že po 6 týdnech intervence byl signifikantní rozdíl pouze mezi skupinou odporového tréninku a CT na běžeckém páse, kdežto po tomto období došlo k oploštění křivky nárůstu síly i u skupiny CT na cyklistickém ergometru (Gergley, 2009). Obrázek znázorňující nárůst svalové síly si lze prohlédnout na obrázku č. 7.



Obrázek 7: Grafické znázornění průběhu rozvoje síly mezi jednotlivými intervenčními skupinami (Gergley, 2009)

Jako hlavní důvod interferenčního efektu zde autor zmínil délku vytrvalostního tréninku (od 20 minut během prvních tří týdnů, přes 30 minut v následujících 3 týdnech do 40 minut během posledních 3 týdnů, intenzita byla vždy na úrovní 65 % predikované maximální srdeční frekvence). Jelikož útlum nárůstu síly se během těchto intervalů stupňoval (viz. obrázek 7 výše) (Gergley, 2009). Dalším důvodem mohlo být i to, že skupiny CT prováděly přednostně vytrvalostní trénink a až poté trénink odporový. Jako možné vysvětlení signifikantního rozdílů mezi CT skupinami na konci intervence pak autor uvádí biomechanická specifika spojená s během a cyklistikou. Kdy během jízdy na kole a leg-pressu kvadriceps vykonává především koncentrickou kontrakci, oproti tomu u běhu je kontrakce kvadricepsu především excentrická (Gergley, 2009). Tyto rozdíly v zapojení svalstva v rámci běhu a jízdy na kole

mohou odlišně ovlivnit akumulaci únavy, případně signální dráhy vedoucí k adaptaci na zatížení (Millet & Lepers, 2004).

Druhou studií srovnávající několik skupin podstupujících totožný odporový trénink, ale odlišný vytrvalostní trénink, byla studie z roku 2012. V této studii autoři porovnávali efekt odporového tréninku a CT o různé intenzitě i modalitě vytrvalostní aktivity (Silva et al., 2012). Studie byla provedena výhradně na ženách (n=44), které byly rozděleny do skupin:

- Odporový trénink
- Odporový trénink a kontinuální běžecký trénink
- Odporový trénink a intervalový běžecký trénink
- Odporový trénink a kontinuální cyklistický trénink na ergometru

Tréninková intervence měla 11 týdnů a participantky trénovaly 2x týdně. Hlavním zjištěním této studie bylo, že nedošlo k interferenčnímu efektu u žádného ze sledovaných parametru (max. síla, isokinetický výkon) a všechny skupiny zlepšily své výkony do stejné míry (Silva et al., 2012). Autoři zmiňují, že možnou příčinou, proč nedošlo k interferenčnímu efektu je frekvence tréninků, která byla nastavena pouze na trénink 2x týdně, přičemž obecně dochází častěji k výskytu interferenčního efektu u tréninkových frekvencí 3x týdně a více (G. J. Bell et al., 2000; Jones et al., 2013; Wilson et al., 2012). Tato nízká tréninková frekvence dovolovala, aby byl mezi tréninkovými dny 72 hodinový odpočinek, který mohl být adekvátní i pro zotavení z CT (Silva et al., 2012).

Následující studie zjišťovala akutní vliv různých modalit (běh, kolo) CT prováděných před jednotkou OT, ve srovnání se samotným OT (Mathieu et al., 2022). Autoři rekrutovali 25 soutěžních mužských hráčů rugby. Ti byli během tří týdnů testování za různých podmínek:

a) kontrolní (pouze OT)
b) CT1 (ráno VT formou intervalů sprintů na kole, odpoledne OT)
c) CT2 (ráno VT formou intervalů běžeckých sprintů, odpoledne OT)

Odporový trénink v rámci VT protokolů začal vždy 4 hodiny po ukončení vytrvalostního tréninku. Autoři se v rámci zkoumaných proměnných zaměřili např. na rychlost provedení pohybu během dřepu na bednu a během bench-pressu, na výšku výskoku v rámci výskoku s protipohybem anebo na vnímané úsilí (RPE). V rámci výkonových parametrů nebyly zaznamenány rozdíly mezi protokoly. Rozdíl byl zaznamenán

v rámci subjektivních parametrů, kdy protokol CT2 (běh) vyústil ve významně vyšší RPE a nižší well-being než ostatní dva protokoly. Autoři vyvodili, že běh ani cyklistika v rámci CT negativním způsobem neovlivnily kvalitu odporového tréninku, avšak pokud byl v rámci CT použit běh, zhoršily se subjektivní pocity ve dnech po tréninku (Mathieu et al., 2022). Odlišné výsledky přinesla další akutní studie, která byla publikována v roce 2015. Autoři se také zaměřili na akutní vliv cyklistiky/běhu na následný silově-vytrvalostní výkon. Skupina 10 fyzicky aktivních osob podstoupila obdobně jako v předchozí studii tři protokoly (OT, CT1 – běh, CT2 – cyklistika). V rámci srovnání protokolů autoři dospěli k závěru, že předchozí VT měl negativní vliv na silově-vytrvalostní výkon, a významnější interferenční efekt byl sledován, když byl během CT zařazen cyklistický trénink (Panissa et al., 2015). Je na místě dodat, že autoři této studie zvolili mezi VT a OT pouze 15minutovou přestávku, oproti tomu, ve studií Methieu et al., (2022) byla přestávka mezi tréninky 4 hodiny. To naznačuje, že délka odpočinku mezi tréninky během CT může sehrávat významnou roli v kvalitě tréninku a následně adaptační odpovědi.

- Vytrvalostní aktivita během CT je nejčastěji prováděna skrze běžecký nebo cyklistický trénink.
- Různé modality se mezi sebou liší z biomechanického hlediska a mohou rozdílným způsobem ovlivňovat rozvoj únavy případně vnímané úsilí během tréninku.
- Výsledky studií jsou prozatím protichůdné a závěry nejasné, interpretaci často ztěžují i rozdíly v metodice, které jsou spojené například s frekvencí tréninku, jeho intenzitou, anebo časovou blízkostí (proximitou) mezi tréninky.

2.6.7 Vliv časové proximity tréninků

V rámci časové proximity (časové blízkosti mezi tréninky) lze brát v potaz čas mezi odporovým tréninkem a tréninkem vytrvalostním (např. 15minutová přestávka mezi tréninky, pokud jsou prováděny v jeden den), případně pak čas mezi jednotlivými tréninkovými dny (např. první CT v pondělí, další CT ve středu).

V rámci studií je kladen důraz především na rozestup mezi odporovým tréninkem a vytrvalostním tréninkem. Akutní studie naznačují, že nedostatečný rozestup mezi tréninkovými jednotkami může vyústit v utlumenou adaptační odezvu (Coffey et al., 2009; Fyfe et al., 2014).

V roce 2003 byla publikovaná studie, jejíž autoři si dali za cíl zjištění, jakým způsobem ovlivní dva odlišné typy vytrvalostního tréninku (HIIT a sub-maximální, kontinuální vytrvalostní trénink) výkon během následného odporového tréninku (počítal se objem práce během 4 sérií se zátěží ~ 75 % 1RM u cviků benchpress a legpress). Hlavním zjištěním bylo, že pokud byl před odporovým tréninkem proveden vytrvalostní trénink, došlo ke negativnímu ovlivnění množství vykonané práce během odporového tréninku (Sporer & Wenger, 2003). Míra, do jaké byl objem práce negativně ovlivněn, byla závislá jednak na délce odpočinku mezi jednotkami, tak i na svalových skupinách, které byly testovány. V rámci bench pressu nedošlo k žádnému negativnímu vlivu předchozí vytrvalostní aktivity ($p = 0.97$). U leg pressu došlo k statisticky významnému ovlivnění pracovního objemu u protokolů 4hodinové i 8hodinové přestávky ($p < 0.05$; objem práce byl menší o 25 % respektive 9 %), po 24 hodinách již byli probandi schopni znovu provést obdobný počet opakování jako v rámci kontrolního testování (Sporer & Wenger, 2003). To, že nedošlo k negativnímu ovlivnění výkonu v bench pressu naznačuje, že roli sehrává spíše lokální, nežli centrální únava (viz. Kapitola 2.6.2).

Pokud by toto akutní narušení mělo kumulativní charakter, mohlo by se stát, že z dlouhodobého hlediska negativním způsobem ovlivní adaptaci na odporový trénink, jelikož tréninkový objem je proměnnou, která sehrává v procesu adaptace na odporový trénink významnou roli (Ralston et al., 2017; Schoenfeld et al., 2017). Jak dílčí studie, tak souhrnné přehledové studie a meta-analýzy konzistentně poukazují na to, že čím blíže jsou k sobě jednotky odporového a vytrvalostního tréninku situovány, tím pravděpodobnější je výskyt interferenčního efektu (Robineau et al., 2016; Sale et al., 1990; Schumann et al., 2022).

Robineau et al. (2016) ve studii zkoumali vliv různých intervalů odpočinku mezi jednotkami CT. Za tímto účelem byl sestaven 7týdenní

tréninkový program, ve kterém byl vždy jako první prováděn odporový trénink, po kterém následoval vytrvalostní trénink ve třech různých intervalech (ihned, po 6 hodinách, po 24 hodinách). Autoři předpokládali, že míra nárůstu adaptace mezi skupinami bude následovná: 24 h odpočinek > 6 h odpočinek > ihned po. Hlavním zjištění studie bylo, že k interferenčnímu efektu dochází, i když je odporový trénink prováděn jako první v sekvenci. Dalším zjištěním bylo, že interferenční efekt byl ovlivněn délkou zotavení mezi tréninky, kdy míra narušení adaptace byla nejvyšší u protokolu bez odpočinku mezi tréninky, o něco lépe na tom byla skupina s 6hodinovou periodou odpočinku, a u skupiny s 24hodinovým odpočinkem interferenční efekt zaznamenán nebyl (Robineau et al., 2016). Autoři proto doporučují, pokud je to možné, během CT zařazovat alespoň 24 hodin odpočinku mezi tréninkem síly a vytrvalosti.

Jiná studie porovnávala adaptaci na 20týdenní CT trénink u dvou skupin. Jedna skupina prováděla odporový i vytrvalostní trénink v rámci jedné tréninkové jednotky, druhá skupina v jiné dny. Skupina, která prováděla tréninky separátně, v jiné dny, zaznamenala větší nárůst síly, ačkoliv míra svalové hypertrofie byla u obou skupin stejná (Sale et al., 1990). V kontrastu s tím jsou další studie pocházející z jednoho výzkumného týmu, který se zabýval vlivem CT v porovnání s odporovým tréninkem na svalovou hypertrofii. V první studii autoři zjistili, že při porovnání akutního efektu odporového tréninku nebo CT došlo k významnější anabolické odpovědi u kosterního svalstva (aktivaci klíčových signálních drah) u skupiny provádějící CT (Lundberg et al., 2012). Toto zjištění vedlo autory k tomu, aby se pokusili zjistit, jaký to bude mít důsledek z chronického hlediska. Proto provedli experiment zahrnující 5týdenní intervenci CT vs. odporový trénink a zjistili, že k větší míře svalové hypertrofie stehna došlo u skupiny CT (Lundberg et al., 2013). To naznačuje určitý synergický efekt vytrvalostního a odporového tréninku na svalovou hypertrofii. Zajímavostí je, že větší míra svalové hypertrofie u skupiny CT nevedla k větší míře nárůstu funkčních ukazatelů (*power*).

Sub-analýza výsledků v rámci jedné z meta-analýz v této oblasti, poukázala na trend pro výskyt interferenčního efektu pro přestávky mezi tréninky < 24 hodin, ovšem pokud byla přestávka > 24 hodin, skupiny CT vykazovaly obdobnou adaptační odpověď jako skupiny pouze odporového tréninku (Sabag et al., 2018).

Obecně by bylo možné, pro optimalizaci výsledků, doporučit oddělit jednotky odporového a vytrvalostního tréninku periodou alespoň 24 hodin. Pro velkou část sportovců to však nemusí být proveditelné,

v takovém případě by interval mezi jednotkami měl trvat alespoň 6-8 hodin (Berryman et al., 2019; Robineau et al., 2016).

- Časová blízkost tréninků může skrze akumulaci únavy ovlivnit kvantitu/kvalitu tréninku, který je „druhý v pořadí“ a tím případně negativně ovlivnit i dlouhodobou adaptace.
- Je možné, že pokud jsou během OT a VT zapojeny jiné svalové skupiny, nemusí dojít k negativnímu vlivu na kvantitu/kvalitu druhého tréninku v pořadí.
- Evidence naznačuje, že čím kratší je interval odpočinku mezi tréninky, tím vyšší riziko vzniku interferenčního efektu.
- Pokud je to možné, měla by být mezi tréninky zařazena 24hodinová přestávka, ekologicky validnější scénáře pak doporučují alespoň 6hodinovou přestávku.

2.6.8 Vliv sekvence tréninků

Odporový a vytrvalostní trénink jsou často prováděny ve společně tréninkové jednotce, která je oddělena např. pouze krátkou přestávkou (Li et al., 2021). V takovém případě lze pak zvolit sekvenci OT > VT anebo opačně VT > OT. Vliv dvou typů sekvencí na výsledky CT byl cílem několika studií případně i souhrnných meta-analýz.

Je snadné si představit, že pokud jeden typ tréninku přímo předchází druhému typu tréninku, lokální, případně celková únava, může negativně ovlivnit pozdější výkon (Reed et al., 2013). Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole (2.6.7.), z akutního hlediska, vytrvalostní trénink přecházející odporovému tréninku může negativně ovlivnit množství práce během odporového tréninku (Sporer & Wenger, 2003).

Murlasitz s kolektivem (2018) do své meta-analýzy zahrnuli studie, které se zabývaly vlivem různých sekvencí (OT > VT nebo VT > OT) na tréninkovou adaptaci. Studie musely být randomizované, kontrolované trialy (dále pouze RCT), musely trvat alespoň 8 týdnů a tréninky musely následovat ihned po sobě (s maximální délkou přestávky ~ 10 minut). Kritéria splnilo celkem 13 studií, z analýzy výsledků pak vyplývá, že pro rozvoj maximální síly, je vhodnější sekvence OT > VT, kdy velikost efektu (vyjádřena v kg) dosahovala hodnoty 3.96 (95%CI: 0.81 až 7.10 kg). Při analýze vlivu sekvence tréninku na jeden z klíčových ukazatelů aerobní výkonnosti (VO_{2max}) nedošlo k signifikantnímu rozdílu mezi sekvencemi = 0.39 ml.kg.min^{-1} (95%CI: −1.03% až 1.81 ml.kg.min^{-1}),tudíž pro nárůst aerobní výkonnosti jsou obě sekvence obdobně efektivní (Murlasits et al., 2018). Zajímavostí také bylo, že z hlediska sub-analýzy byl rozdíl mezi jednotlivými sekvencemi (ve prospěch OT >VT) výraznější u žen, než u mužů (ES 7.84 (95% CI: 2.74 až 12.88) vs 1.37 (95% CI: −2.80 až 5.55)).

Další meta-analýza zabývající se stejným tématem přinesla obdobné výsledky (Eddens et al., 2018). Analýza zahrnovala studie, které porovnávaly odlišné sekvence tréninku a jejich vliv na svalovou sílu, *power* nebo hypertrofii. Studie musely splňovat maximální rozestup mezi tréninky <15 minut. Participanti v rámci studií museli být zdraví a starší 16 let, skupiny musely mít stejný tréninkový status (trénovaní/netrénovaní). Studie musely trvat alespoň 5 týdnů. Do výsledné analýzy bylo zahrnuto 10 studií.

V rámci vlivu sekvencí tréninku na maximální dynamickou sílu dolních končetin (např. 1 RM dřep, leg-press, …) byl zjištěn větší pozitivní efekt u sekvence OT > VT (vážený průměrný rozdíl 6.91% změna; 95%

CI 1.96, 11.87; p = 0.006). Avšak tréninková sekvence neměla vliv na svalovou hypertrofii dolních končetin (vážený průměrný rozdíl 1.15% změna; 95 CI −1.56, 3.87 %; p = 0.40). Tréninková sekvence rovněž neměla vliv na maximální statickou sílu (např. dynamometr) dolních končetin (vážený průměrný rozdíl −0.04% změna; 95 % CI −3.19, 3.11%; p = 0.98). Stejně tak bez rozdílů bylo porovnání z hlediska vlivu na maximální aerobní kapacitu a procento tuku (p = 0.83 respektive p = 0.42).

Aktuálnější meta-analýza zabývající se sekvencí tréninků a vlivem na CT byla publikována v roce 2021. Kritéria pro zařazení byly obdobné jako v minulých případech (RCT, zdravé osoby, OT a VT v jedné tréninkové jednotce, intervence trvající alespoň 7 týdnů) (Li et al., 2021).

V rámci výsledků autoři reportují, že v rámci žádného ze sledovaných parametrů nedošlo mezi skupinami k významným rozdílům. V rámci sub-analýzy byly studie rozděleny dle věku participantů (<18 let, 20-30 let, 57-65 let). Zde statistická analýza poukázala na to, že v rámci populace 20-30 let byl pro rozvoj síly vhodnější postup VT následovaný OT (SMD=−0.61, 95 % CI =−1.13–0.09, P =0.02), což je v protikladu k výsledkům předchozích meta-analýz. U dalších dvou věkových skupin nebyly mezi jednotlivými sekvencemi významné rozdíly. Další moderující proměnnou pak byl typ vytrvalostní aktivity. Pokud byl vytrvalostní trénink prováděn formou běhu, výsledky byly ve prospěch sekvence VT následován OT (v důsledku většího nárůstu max. síly). Pokud byl vytrvalostní trénink formou veslování, pak byly výsledky ve prospěch sekvence OT následován VT (z důvodu výraznějšího nárůstu VO2max). V případě cyklistiky nebyl zaznamenán významný rozdíl mezi skupinami. Autoři v rámci závěrečného shrnutí doporučují sekvenci VT > OT pro optimální adaptaci na odporový trénink (Li et al., 2021). Tyto výsledky jsou v rozporu s předchozími meta-analýzami.

Další autoři se zaměřili na efekt sekvence tréninků (VT poté OT nebo OT poté VT) při snaze o rozvoj aerobní výkonnosti. V rámci přehledové studie zjistili malý a neprůkazný efekt sekvence tréninků (ve prospěch VT poté OT), kdy tento efekt dle slov autorů nemá velký význam z hlediska vytrvalostního výkonu (Vikestad & Dalen, 2024).

- Vypadá to, že pokud tréninky OT a VT následují ihned po sobě (případně s krátkou přestávkou do 15 minut), je z hlediska minimalizace interferenčního efektu vhodné jako první v sekvenci zařadit OT, jelikož akutní únava by mohla negativním způsobem ovlivnit kvantitu/kvalitu druhého tréninku v pořadí a tím pádem z dlouhodobého hlediska kompromitovat adaptaci.
- Pokud je cílem tréninku maximalizovat rozvoj aerobní výkonnosti, je zřejmě vhodnější zvolit sekvenci VT následovaný OT.

2.6.9 Nutriční faktory

Důležitost role výživy v tréninkovém/závodním procesu je dnes velmi dobře známa (Thomas et al., 2016). Výživa sehrává důležitou roli z hlediska energetické bilance a manipulace s tělesnou hmotnosti, ale samozřejmě také v rámci regenerace a adaptace na zátěž (Beck et al., 2015; Romieu et al., 2017; Sims et al., 2023).

V rámci sportovní výživy je kladen důraz především na manipulaci s příjmem bílkovin a sacharidů. Sacharidy slouží jako (většinu doby primární) zdroj energie pro sportovní výkon. Důležitost sacharidů vzhledem ke sportovnímu výkonu lze pozorovat na příkladu snížení výkonu při vyčerpání endogenních zásob sacharidů a zlepšení výkonu při podání sacharidů během zatížení (Campbell, 2020). Obecně lze říci, že se zvyšující se intenzitou zatížení, se zvyšuje podíl sacharidů na energetickém krytí a svalový glykogen se stává nejdůležitějším substrátem pro tento výkon (Cermak & van Loon, 2013). Svalový glykogen může mít spojitost také s interferenčním efektem. Některé dřívější zdroje naznačovaly, že vyčerpání glykogenových zásob během období vícefázových tréninků (jako např. dvou tréninkových jednotek za den v rámci CT), může vést k sub-optimálnímu výkonu (a tedy sub-optimální stimulaci adaptačních mechanismů) během druhé tréninkové jednotky, která proběhne za stavu vyčerpaného svalového glykogenu (Nader, 2006). Byly publikovány i studie, které poukazovaly na negativní vliv nízké hladiny

svalového glykogenu na signální anabolické procesy po jednotce odporového tréninku, což by z chronického hlediska mohlo vést k útlumu adaptace (Creer et al., 2005). To však nepotvrdila další studie, která se tomuto tématu věnovala. V této studii autoři zjišťovali vliv tréninkové jednotky za stavu vyčerpaného glykogenu, na myofibrilární proteosyntézu v období do 4 hodin po tréninku. Kdy v porovnání s protokolem, ve kterém svalový glykogen před tréninkem vyčerpán nebyl, autoři neshledali rozdíly v rámci stimulace myofibrilární proteosyntézy (Camera et al., 2012). Trénink v období vyčerpaného svalového glykogenu může mít pozitivní vliv na aerobní adaptaci, může totiž vést k změnám na úrovní buněčné signalizace, které mohou podpořit mitochondriální adaptace (Camera et al., 2015). V rámci obecných doporučení se uvádí optimum příjmu sacharidů v rozmezí 3-12 g/kg tělesné hmotnosti, dle typu sportu, jeho frekvence, intenzity či tréninkového objemu (Burke et al., 2013; Campbell, 2020; Henselmans et al., 2022; D. T. Thomas et al., 2016).

Pokud sacharidy vnímáme především jako palivo pro výkon, bílkoviny naopak slouží primárně jako stavební prvky, a to nejen pro kosterní svalstvo, ale i různé enzymy, hormony či signální molekuly (Liu & Barrett, 2002). Z hlediska tématu CT jsou však bílkoviny primárně spojeny s adaptací na tréninkové zatížení. Obecně je známo, že potřeba bílkovin převyšuje hodnotu doporučeného příjmu 0.8 g/kg, jelikož tato hodnota odráží množství, které snižuje riziko bílkovinné malnutrice, nejedná se tedy o množství optimální, ale minimální (Moore et al., 2022). Současná doporučení pro populaci sportovců udávají široké rozmezí příjmu ~1.2–2.0 g/kg (Thomas et al., 2016). V poslední dekádě vzniklo několik systematických přehledů s meta-analýzou, případně doplněné ještě meta-regresí, které se soustředily na nalezení „optimálního“ množství bílkovin pro maximalizaci svalové hypertrofie při kombinaci s odporovým tréninkem (Morton et al., 2018; Nunes et al., 2022; Refalo et al., 2025). Tyto meta-analýzy obecně nachází pozitivní lineární vztah mezi příjmem bílkovin a nárůstem svalové hmoty. Morton et al., (2018) ve své analýze uvádí bod zlomu na hodnotě 1.62 g/kg, větší množství bílkovin v provedené analýze významněji nezvyšovalo přírůstky bez-tukové hmotnosti (z angl. Fat free mass – dále pouze FFM). Další dvě zmíněné meta-analýzy tato zjištění rozšiřují, a spíše naznačují pozitivní trend vzhledem k svalové hypertrofii, i při množství bílkovin vyšším než 1.6 g/kg (Nunes et al., 2022). V rámci kalorické restrikce je zřejmě optimum pro příjem bílkovin položeno ještě výše, recentní meta-analýza

publikována v lednu tohoto roku (2025) shrnuje, že data naznačují lineární trend mezi množstvím bílkovin a změnou FFM, kdy pro každý gram zkonzumovaných bílkovin od 0.8 g/kg do 3.2 g/kg existuje 97 % pravděpodobnost lepší retence FFM (Refalo et al., 2025).

Problematikou příjmu bílkovin během CT se zabývalo několik experimentálních studií a vznikla také jedna systematická přehledová studie s meta-analýzou a jedna narativní přehledová studie (Bagheri et al., 2024; Camera, 2022; Chapman et al., 2021; Perez-Schindler et al., 2015; Shamim et al., 2018).

Shamim et al., (2018) ve své studii implementovali stravu s vysokým obsahem bílkovin (2 g/kg) během 12týdenního tréninkového protokolu u tří skupin (OT, VT, CT). Po uplynutí tréninkového cyklu autoři zaznamenali obdobný nárůst bez-tukové hmoty (~ 4 %) u skupin RT i CT, stejně tak byl u obou zmíněných skupin zaznamenán nárůst objemu m. vastus lateralis (~ 15 % CT, ~ 11 % OT) bez významného rozdílu mezi skupinami. Pouze v rámci maximálního výkonu ve Wingate testu (vztaženého relativně na kg tělesné hmotnosti) byl pozorován určitý trend ve prospěch OT (12.5 ± 1.6 W/kg pro OT a 10.8 ± 1.7 W/kg pro CT, p = 0.053). Na základě těchto výsledků autoři vyvodili, že i přes vysokou dostupnost bílkovin mohou být některé parametry explozivní síly negativně ovlivněny během CT (Shamim et al., 2018). Další studie se zaměřila na vliv odlišného množství bílkovin (1.6 a 3.2 g/kg) na adaptaci po 16 týdnech CT nebo OT. Autoři rozdělili 48 trénovaných mužů do 4 skupin:

1. CT + 1.6 g/kg bílkovin (CT1)
2. CT + 3.2 g/kg bílkovin (CT2)
3. OT + 1.6. g/kg bílkovin (RT1)
4. OT + 3.2 g/kg bílkovin (RT2)

Na konci intervence došlo k podobnému nárůstu síly a explozivní síly horní poloviny těla u všech skupin. V případě explozivní síly dolních končetin však byl signifikantní rozdíl mezi skupinou RT2 a CT1 ve prospěch skupiny RT2 (Bagheri et al., 2024). Stejně jako v předchozí studii i zde byla explozivní síla měřena pomocí Wingate testu. Zajímavé je, že rozdíly v explozivní síle nebyly spojeny s rozdíly v nárůstu bez-tukové hmoty, jelikož v tomto parametru nebyl mezi skupinami významný rozdíl.

D. Camera ve svém narativní přehledu shrnuje, že příjem bílkovin až do dvojnásobku doporučeného příjmu nezabrání snížení vybraných

aspektů svalové síly během CT, při porovnání s OT (Camera, 2022). Autor také dodává, že v rámci doporučení pro příjem bílkovin je potřeba individuálního přístupu a zohlednění metodologických faktorů tréninku (typ, intenzita, frekvence, objem atd.). Systematický přehled s meta-analýzou publikovaný v roce 2021 se zaměřil na vliv suplementace bílkovinami na adaptaci na CT. V tomto případě autoři neporovnávali skupiny CT a OT, ale obě skupiny v rámci intervence absolvovaly CT s rozdílem v rámci suplementace bílkovinami či placebem. Autoři vyvodili, že suplementace bílkovinami měla velký vliv adaptaci v podobě nárůstu svalové síly či bez-tukové hmoty, v rámci aerobních adaptací nebyl pozitivní vliv pozorován (Chapman et al., 2021).

- Výživa sehrává významnou roli v tréninkovém a závodním procesu sportovce.
- Sacharidy slouží primárně jako zdroj energie, bílkoviny jsou kritické z hlediska regenerace, re-modelace svalové hmoty a jejího případného nárůstu.
- Obecné doporučení pro příjem sacharidů u sportovců je stanoveno na 3–12 g/kg a odvíjí se od typu sportu a metodologie tréninku (objem, intenzita, frekvence).
- Doporučení pro příjem bílkovin u sportovců leží v rozmezí 1.2–3 g/kg a odvíjí se od typu sportu, cíle sportovce a případné pozitivní/negativní kalorické bilance.
- Několik autorů se zaměřilo na výživu během CT, s akcentem na manipulaci s příjmem bílkovin, který byl v některých případech stanoven až na 3.2 g/kg.
- Rovněž při zvýšeném množství příjmu bílkovin (2 g/kg) může docházet v rámci anaerobního výkonu

2.6.10 Rozdíly mezi pohlavími

Jako důsledek významně nižšího zastoupení žen ve výzkumu v oblasti kinantropologie či tělesného cvičení, velké množství toho, co nyní víme o fyziologické odpovědi na fyzické zatížení ve formě tréninku, pochází z výzkumu na kohortách složených z mužů, či kohortách smíšených (Hagstrom et al., 2021; Landen et al., 2023). Při porovnání počtu studií provedených pouze na mužích s počtem studií pouze u žen, se v oblasti fyziologie dostáváme k poměru ~4:1 ve prospěch studií provedených u mužů (Ansdell et al., 2020). Z hlediska fyziologie shledáváme mezi muži a ženami mnoho rozdílů.

V průměru jsou muži vyšší, těžší, mají větší množství bez-tukové tkáně a vyšší množství rychlých svalových vláken, během cvičení muži spotřebovávají více sacharidů a proteinů v porovnání s ženami, které využívají větší množství tuků jako paliva (Landen et al., 2023; Tarnopolsky, 2008). Muži rovněž disponují vyšší koncentrací hemoglobinu, což umožňuje větší kapacitu přenosu kyslíku krví (Senefeld & Hunter, 2024).

Rozdíly z hlediska výkonnosti mezi pohlavím jsou viditelné zejména při relativním (%) porovnání absolutních hodnot. Například v rámci světového rekordu v běhu na 100 m je rozdíl mezi časem u mužů (9.58) a u žen (10.49) 9,5 %, ve skoku dalekém u mužů (8.95 m) a u žen (7.52 m) je rozdíl 16 %. Ve vzpírání v nejvyšší kategorii (u mužů +109 kg, u žen +87 kg) je pak rozdíl v dvojboji 31.9 % (492 kg s. 335 kg) (Senefeld & Hunter, 2024).

Tyto rozdíly ve fyziologii a anatomii mezi pohlavími, jsou přisuzovány především biologickému efektu chromozomu Y a mnohem vyšší endogenní koncentraci testosteronu u mužů během puberty a v dospělosti (Hunter et al., 2023; Senefeld & Hunter, 2024).

Z hlediska adaptace na trénink u obou pohlaví můžeme pozorovat obdobný (relativní) nárůst například svalové hmoty po odporovém tréninku (LOPEZ et al., 2021; B. M. Roberts et al., 2020). Obdobně nárůst síly dolních končetin je v relativním měřítku srovnatelný u mužů i žen, z hlediska síly horní poloviny těla byl v rámci jedné meta-analýzy pozorován dokonce větší relativní nárůst síly u žen (B. M. Roberts et al., 2020).

Případnými rozdíly v adaptaci na HIIT u mužů a žen se zabývala meta-analýza z roku 2024. Autoři po analýze 28 experimentálních studií, dospěli k závěru, že mezi pohlavími nebyly žádné rozdíly při srovnání velikosti efektu intervence u jakýchkoliv výsledků v oblasti fitness či výkonu (např. nárůst VO_{2max}, vykonaná práce na úrovní anaerobního prahu apod.)(Lock et al., 2024).

Rozdíly v rámci adaptace na CT u žen a mužů se zabýval například Bell s kolektivem (1997). V rámci této studie autoři zjišťovali vliv CT a odporového tréninku na sílu dolní a horní poloviny těla (bench-press a leg-press), hladinu testosteronu a koncentraci kortizolu v krvi, nebo VO_{2max}. Po analýze výsledků autoři došli k závěru, že síla u obou cviků byla signifikantně zvýšena u obou pohlaví a obou skupin. U mužů byla relativní změna stejná u obou skupin (CT a odporový trénink). U žen bylo relativní zvýšení síly v leg-pressu utlumeno u skupiny CT, v případě bench-pressu rozdíl v nárůstu síly nebyl. Autoři nakonec vyvozují, že tyto výsledky indikují rozdílnou adaptaci na CT u mužů a žen (Bell et al., 1997). Další studie pak naznačují, že u žen je zřejmě z hlediska CT důležitější tréninková sekvence (OT a poté VT), a to z důvodu regenerace po zatížení, jelikož u žen byla v daných případech pozorována vyšší míra neuromuskulární únavy (Schumann et al., 2015; Taipale et al., 2014).

Rozdíl v adaptaci na CT u mužů a žen byl cílem jedné ze sub-analýz v meta-analýze autorů Berryman et al. (2017), ovšem autoři v tomto případě vyvodili, že efekt pohlaví není možné zjistit, jelikož nebyl dostatek studií, které zahrnovaly pouze ženy (Berryman et al., 2018). K obdobnému výsledku dospěl systematický přehled publikovaný v listopadu roku 2023. Autoři sice uvádějí, že vzhledem k výsledkům zahrnutých studií můžeme říci, že je CT efektivní strategií pro rozvoj síly či zlepšení tělesné kompozice u žen, avšak jedním dechem dodávají, že vzhledem k metodice zahrnutých studií nebylo možné zjistit, zdali je CT více (nebo méně) efektivní než samotný odporový či samotný vytrvalostní trénink (Mikkonen et al., 2024). Dalšími faktory ovlivňujícími výsledky mohly být kvalita zahrnutých studií, která se pohybovala od nízké po střední kvalitu, a také absence zohlednění menstruačního cyklu (Mikkonen et al., 2024). Ovšem je nutné zmínit, že obecně je vliv menstruačního cyklu na výkon zřejmě triviální, jak naznačuje velikost efektu vyplývající z recentní meta-analýzy (- 0.14 ES pro časnou folikulární fázi při porovnání s ostatními fázemi) (McNulty et al., 2020).

Nejnovější, souhrnné poznatky, ohledně rozdílů mezi muži a ženami v oblasti CT přinesla meta-analýza publikována poměrně nedávno (Huiberts et al., 2024). Analýza zahrnovala 20 studí (z toho pouze 4 studie zaměřené na ženy). Zjištěním bylo, že u mužů CT vyvolal útlum nárůstu síly dolních končetin oproti samotnému odporovému tréninku (ES -0.43), kdežto u žen tento efekt pozorován nebyl (ES 0.08). V rámci síly horní poloviny těla nedošlo k interferenčnímu efektu u mužů ani u žen. U posouzení vlivu CT v porovnání s odporovým tréninkem samotným na

ukazatel *power* byl interferenční efekt pozorován u mužů i u žen (bez rozdílu mezi pohlavím), data pro hypertrofii byla dostupná pouze pro muže a bez významného rozdílu mezi CT a odporovým tréninkem samotným (Huiberts et al., 2024). Tato data naznačují určité rozdíly při adaptaci na CT mezi pohlavími, ovšem je nutné vzít v potaz množství studií, na kterých jsou založena, jelikož analýza adaptací mezi CT a odporovým tréninkem byla u mužů založena na datech ze 17 studií, u žen pouze 4. Autoři dále uvádějí, že mechanismus v pozadí rozdílů v adaptaci na CT u mužů a žen není jasný, přičemž poukazují na obecné rozdíly mezi pohlavím, týkající se svalstva a fyziologie zatížení (typologie svalových vláken, endokrinní rozdíly). Narušení rozvoje síly dolních končetin autoři spojují s menším zastoupením svalových vláken I. Typu u mužů, jelikož tato vlákna jsou odolnější vůči únavě (avšak zaostávají z hlediska produkce síly). Jako další možný podklad uvádějí větší množství svalové hmoty u mužů, které je obecně negativně asociováno s oxidativní kapacitou svalu (Huiberts et al., 2024).

- Většina kinantropologického výzkumu je založena na datech mužské populace.
- Obecně mezi muži a ženami nacházíme mnoho rozdílů v oblasti fyziologie, které jsou často spojovány s pohlavním Y chromozomem a hladinami hormonů v období puberty a dospělosti.
- V rámci absolutních dosažených hodnot jsou dobře viditelné rozdíly, které se u silových hodnot v rámci světových rekordů pohybují i okolo 30 % rozdílu.
- Přestože v absolutních číslech hovoří hodnoty ve prospěch mužů, v rámci různých tréninkových intervencí pozorujeme podobné relativní zlepšení u mužů a žen.
- V oblasti CT bylo doposud provedeno malé množství studií na vyloženě ženských kohortách, avšak i přesto souhrnné výsledky poukazují na výskyt interferenčního efektu, minimálně v oblasti adaptace *power* ukazatelů.

2.6.11 Která adaptace je nejčastěji negativně ovlivněna během CT?

Jednotlivé studie, případně souhrnné přehledy a meta-analýzy zkoumají vliv CT na různé ukazatele (aerobní zdatnost, maximální dynamická síla, svalová hypertrofie, *power*). Interpretace těchto studii dále komplikuje množství proměnných, které ovlivňují výskyt interferenčního efektu a které se mohou různě ovlivňovat i navzájem. Proto bude další část textu zaměřena na to, jak vliv CT na různé proměnné interpretují meta-analýzy, které se nacházejí na samotném vrcholu vědecké evidence.

Vyhledávání přehledových studií s meta-analýzou proběhlo v databázích Web of Science a Pubmed v únoru 2025, rok publikace nebyl při vyhledávání specifikován (od začátku databáze do současnosti).
Vyhledávání ve Web of Science proběhlo za použití příkazu:

- "concurrent training" OR "simultaneous training" OR "concurrent exercise" OR "combined training" OR "hybrid training" (Title)
- "strength training" OR "resistance training" (Title OR Topic)
- "endurance training" OR "aerobic training" OR "cardio" (Title OR Topic)
- "meta-analysis" OR "systematic review" (Title OR Topic)

Vyhledávání v databází pubmed mělo následující strukturu příkazu:

- ("concurrent training"[TIAB] OR "simultaneous training"[TIAB] OR "concurrent exercise"[TIAB] OR "combined training"[TIAB] OR "hybrid training"[TIAB])
- AND ("strength training"[TIAB] OR "resistance training"[TIAB] OR "Resistance Training"[MeSH])
- AND ("endurance training"[TIAB] OR "aerobic training"[TIAB] OR "cardio"[TIAB] OR "Endurance Training"[MeSH])
- AND ("meta-analysis"[Publication Type] OR "systematic review"[TIAB])

V rámci vyhledaných výsledků byly vybrány pouze studie, které splňovaly tato kritéria:

P: zdraví dospělí jedinci (ne senioři, děti)

I: skupiny provádějící CT
C: skupiny provádějící samotný OT (stejný jako u CT)
O: souhrnně parametry týkající se svalové hypertrofie, maximální síly, *power*
S: meta-analýzy (z hlediska zjednodušení interpretace daných studií nebyly zahrnuty samotné přehledové studie bez kvantifikace výsledků pomocí meta-analýzy)

V rámci postupu popsaného výše bylo v databázi Web of Science vyhledáno 18 studií, v databázi Pubmed 80 studií. Po aplikaci PICOS kritérií a vyřazení duplikátů byl počet meta-analýz splňující kritéria 9 (Huiberts et al., 2024; Chen et al., 2024; Kang et al., 2022; Lundberg et al., 2022; Noh et al., 2024; Petré et al., 2021; Pito et al., 2021; Schumann et al., 2022; Wilson et al., 2012).

Vyhledání dalších publikací proběhlo skrze Google Scholar. V rozšířeném vyhledávání bylo v řádku „s přesnou frází" zadáno „concurrent training", v řádku „alespoň s jedním slovem" zadán „meta analysis systematic review". Vyhledáno bylo 90 výsledků. Zařazeny byly další dvě studie (Monserdà-Vilaró et al., 2023; Sabag et al., 2018). Celkem tabulky shrnují výsledky jedenácti meta-analýz z oblasti, první byla publikována v roce 2012 nejnovější dvě byly publikovány v roce 2024.

Hlavní charakteristiky meta-analýz jsou popsány dle zaměření na jednotlivé adaptace (svalová síla, svalová hypertofie, *power*) v tabulkách č. 1, 2, 3. Jednotlivé adaptace jsou uvedeny krátkou teorií, na kterou navazuje souhrn v podobě tabulky, která je následně v krátkosti doplněna textovým komentářem.

Svalová hypertrofie

V rámci vlivu na svalovou hypertrofii se výzkumy v závěrech rozchází. Některé výzkumy poukazují na negativní vliv CT v porovnání se samotným OT na svalovou hypertrofii (nebo nárůst FFM) (Timmons et al., 2018). Naopak četné výzkumy neprokázaly evidenci interferenčního efektu, pokud se jedná o svalovou hypertrofii (Bagheri et al., 2024; Murach & Bagley, 2016; Shamim et al., 2021; Timmins et al., 2020). V některých případech dokonce v rámci CT došlo k větší míře svalové hypertrofie nežli u samotného odporového tréninku (Kazior et al., 2016; Lundberg et al., 2013). Větší míra hypertrofie u CT v porovnání s OT může být

založena na výraznější aktivaci hlavních signálních drah zapojených do procesu MPS – AKt (proteinkináza B), mTOR u probandů podstupujících CT (Kazior et al., 2016). Další zajímavostí dané studie je to, že CT podpořil hypertrofii svalových vláken I i II typu, zatímco u probandů podstupujících samotný OT došlo pouze k hypertrofii svalových vláken II typu (Kazior et al., 2016). Je nutné zmínit, že výzkumu se účastnili probandi, kteří pravidelně neprováděli OT ani VT (dalo by se říci, že netrénovaní), a trénink byl zaměřen pouze na dolní část těla (leg-press) v kombinaci s cyklistikou u CT (první VT, následován 10minutovou přestávkou a poté OT). Zřejmě došlo k tomu, že netrénovaný sval nebyl dostatečně senzitivní k rozdílným mechanickým stimulům (odporový vs. vytrvalostní trénink) a po VT došlo k dodatečné aktivaci signálních drah zvyšujících MPS a vedoucí k svalové hypertrofii. Tento jev byl opakovaně pozorován i v dřívějších výzkumech a je jedním z mechanismů, jak tréninková historie jedince může ovlivnit výsledky CT (Benziane et al., 2008; Coffey & Hawley, 2017; Harber et al., 2012).

Autoři přehledové studie z roku 2016 uvádějí, že vytrvalostní trénink může podpořit hypertrofii indukovanou odporový tréninkem, za dodržení podmínek (Murach & Bagley, 2016):

- Tréninkové jednotky (OT a VT) jsou prováděny s odstupem 6-24 hodin
- V rámci CT je minimalizován tréninkový objem – HIIT, 2-3 dny VT, v rámci posilovny ≤ 2 tréninky nohou
- VT je prováděn formou cyklistiky

Vzhledem k rozporuplným výsledkům jednotlivých studií je vhodné interpretovat především výsledky systematických přehledů a meta-analýz z oblasti. V posledních dvou dekádách bylo publikováno hned několik, které se mezi sebou lišily v různých detailech dotýkajících se například inkluzivních kritérií (Huiberts et al., 2024; Chen et al., 2024; Lundberg et al., 2022; Monserdà-Vilaró et al., 2023; Sabag et al., 2018; Schumann et al., 2022; Wilson et al., 2012). Z toho důvodu jsou hlavní charakteristiky a výsledky systematických přehledů s meta-analýzou představeny v tabulkách na následujících stranách. Hlavní zjištění týkající se vlivu CT na svalovou hypertrofii (v porovnání s OT) shrnuje tabulka č. 1 níže.

Tabulka 1: Meta-analýzy porovnávající vliv CT a OT na svalovou hypertrofii

Studie	Cíl	PICO kritéria	Počet studií v analýze; počet participantů	Hlavní výsledek	poznámka
Lundberg et al., 2022	Porovnání hypertrofie vláken I a II typu mezi OT a CT	**P**: zdraví dospělí **I**: CT o délce alespoň 4 týdnů, se supervizí **C**: skupina OT podstupující totožný OT **O**: hypertrofie vláken I a II typu	15; 300	Celkem: OT > CT (ES -0.23, p = 0.05) Vlákna I typu OT = CT (ES -0.34, p = 0.078 Vlákna II typu OT = CT (ES – 0.13, p = 0.315)	Interferenční efekt u vláken I typu zřejmě silnější, pokud je VT formou běhu
Sabag et al., 2018	Srovnání OT a CT (zahrnující VT formou HIIT) v rámci hypertrofie a síly	**P**: Zdraví dospělí 18+ **I**: Intervence min. 4 týdny **C**: Skupina OT podstupující totožný OT **O**: změna bez-tukové hmoty	7; 127* *Souhrnný počet pro všechny analýzy	Celkem: OT = CT (ES 0.106, p = 0.529) Hypertrofie DK: OT = CT (ES = 0.158, p = 0.495)	
Wilson et al., 2012	Identifikovat, které proměnné VT mají negativní vliv na výsledky OT	NR	21*; NR *Souhrnný počet pro všechny analýzy	Celkem: OT = CT (ES OT = 1.23, ES CT = 0.85, p > 0.05)	Signifikantní negativní vztah mezi hypertrofií DK frekvencí VT a délkou VT (r = -0.26

				CT (VT běžecký) < OT (ES 0.68 vs. 1.54, p < 0.05)	respektive - 0.75 p < 0.05)
Huiberts et al., 2023	Posouzení pohlavně-specifických rozdílů v adaptaci na CT	**P**: zdraví dospělí (18-50 let) **I**: CT o délce alespoň 4 týdnů **C**: OT **O**: hypertrofie (UTZ, MR, CT)	59; 1 346* *Souhrnný počet pro všechny analýzy	OT = CT (ES 0.24, p hodnota neuvedena (CI -0.29, 0.77))	Žádná studie u zabývající se hypertrofií během CT u žen
Schumann et al., 2022	Posouzení kompatibility OT a VT během CT	**P**: Zdraví dospělí **I**: CT o délce alespoň 4 týdnů, se supervizí **C**: OT **O**: hypertrofie (UTZ, MR, CT, DXA)	15; 201	OT = CT (ES – 0.01, p = 0.919)	
Chen et al., 2024	Posouzení rozdílů mezi OT a CT vzhledem k silovým adaptacím	**P**: zdraví dospělí 18 – 45 let **I**: CT o délce alespoň 4 týdnů **C**: OT **O**: MCSA (biopsie, CT, DXA, MR, **S:** pouze RCT	21; 428	OT < CT (HIIRT + OT SUCRA 67.3 %, MICCT + OT SUCRA 63.8 % , OT SUCRA 47.1 %)	
Monserdà-Vilaró et al., 2023	Porovnání adaptace z hlediska svalové hypertrofie u OT a CT	**P**: zdraví dospělí (18+) **I**: CT **C**: OT **O**: svalová hypertrofie na úrovni celého svalu, případně svalových vláken	25; 540	Celkem: OT = CT (ES 0.02, p = 0.87) Na úrovni různých druhů svalových vláken:	

				CT < RT (typ I ES 0.30, p = 0.03; typ II ES 0.23, p = 0.03)	
Noh et al., 2024	Srovnání vlivu různých typů tréninku (OT/VT/CT) na svalovou sílu a tělesnou kompozici	**P**: muži a ženy **I**: OT, VT, CT **C**: změny hodnot pre- a post- **O**: průměry a směrodatná odchylka (bez-tuková hmota, tuková hmota) **S**: RCT	25; 1102* *Souhrnný počet pro všechny analýzy	M: CT > OT > VT (ES 0.22, 0.21 a -0.12) Ž: CT > OT > VT (ES 0.24, 0.22 a 0.10)	Nebyly statisticky porovnávány rozdíly mezi jednotlivými skupinami. CT a OT intervence byly z hlediska velikosti efektu obdobně efektivní. Znázorněné „pořadí“ je založeno na interpretaci autorů.

OT – odporový trénink, CT – concurrent training, P – populace, I – intervence, C – porovnání, O – typ výsledku, NR – nereportováno, > nebo < - výsledek ve prospěch A nebo B, ES – velikost efektu, UTZ – ultrazvuk, MR – magnetická rezonance, CT – výpočetní tomografie, DXA – dvouenergiová rentgenová absorpciometrie, MCSA – plocha příčného průřezu svalu, RCT – randomizované kontrolované studie, HIIT – vysoce intenzivní intervalový trénink, HIIR – vysoce intenzivní intervalový běh, MICCT – středně intenzivní kontinuální cyklistický trénink, DK – dolní končetiny, CI – interval spolehlivosti

Z výsledků je patrné, že ve většině případů CT neměl negativní vliv na svalovou hypertrofii, pouze v jedné z dostupných meta-analýz byl pozorován interferenční efekt v rámci hlavní analýzy v rámci svalové hypertrofie.

Zajímavý přístup zvolili autoři Chen et al. (2024), kdy v rámci analýzy výsledků v oblasti CT a rozvoje síly a hypertrofie dolních končetin zvolili bayesovský přístup což jim umožnilo v analýze propojit jednotlivé typy intervencí a na základě SUCRA (Surface Under the Cumulative Ranking Curve – plocha pod kumulativní křivkou) hodnoty určit, která intervence je vzhledem ke zkoumané proměnné „nejúčinnější". Analýza v rámci porovnání účinnosti jednotlivých intervencí na zvýšení příčného průřezu svalu dospěla k následujícím SUCRA hodnotám:

- HIICT + RT 42.8 (vysoce intenzivní intervalový cyklistický trénink a odporový trénink)
- HIIRT + RT 67.3 (vysoce intenzivní intervalový běžecký trénink a odporový trénink)
- MICCT + RT 63.8 (kontinuální cyklistický trénink o střední intenzitě a odporový trénink)
- MICRT + RT 28.9 (kontinuální běžecký trénink o střední intenzitě a odporový trénink)
- RT 47.1 (odporový trénink)

Na základě toho lze říci, že intervence HIIRT + RT je pravděpodobně nejúčinnější, následována MICCT + RT a až poté intervencí RT. Sami autoři však upozorňují, že vzhledem k porovnávání odlišných intervencí je potřeba k interpretaci výsledků přistupovat opatrně (Chen et al., 2024).

Obecně, na základě výsledků zmíněných meta-analýz, lze říci, že CT ve většině případů nemá negativní vliv na rozvoj svalové hmoty, pokud je negativní efekt pozorován, velikost efektu je nízká a může být ovlivněna metodikou samotné meta-analýzy, nebo metodikou v pozadí tréninkové intervence u studií zahrnutých v analýze.

Maximální síla

Vliv CT na rozvoj maximální síly je diskutován již od původní studie R. Hicksona, kde byl právě rozvoj maximální síly jedinou negativně ovlivněnou adaptací během CT.

Obdobně jako v rámci svalové hypertrofie, i zde, z hlediska individuálních experimentálních studií nemůžeme s jistotou říci, že má CT

negativní vliv na rozvoj maximální síly v porovnání s odporovým tréninkem. Moderujícím faktorem může být například modalita vytrvalostního tréninku během CT. Již před více než dekádou dospěl Wilson et al., (2012) ve své meta-analýze ke zjištění, že CT narušil rozvoj síly pouze v případech, kdy byla vytrvalostní složka prováděnou formou běhu. U VT ve formě cyklistiky tento efekt pozorován nebyl (Wilson et al., 2012).

V tabulce č. 2 jsou uvedeny výsledky meta-analýz z této oblasti.

Tabulka 2: Meta-analýzy srovnávající vliv CT a OT na rozvoj maximální síly

Studie	Cíl	PICO kritéria	Počet studií v analýze; počet participantů	Hlavní výsledek	poznámka
Sabag et al., 2018	Srovnání OT a CT (zahrnující VT formou HIIT) v rámci hypertrofie a síly	**P**: Zdraví dospělí 18+ **I**: Intervence min. 4 týdny **C**: Skupina OT podstupující totožný OT **O**: změna svalové síly (dynamická síla skrze testování xRM)	7; 127* *Souhrnný počet pro všechny analýzy	Dolní polovina těla OT > CT (ES - 0.248, p = 0.049) Horní polovina těla OT = CT (ES 0.016, p = 0.927)	
Wilson et al., 2012	Identifikovat, které proměnné VT mají negativní vliv na výsledky OT	NR	21*; NR *Souhrnný počet pro všechny analýzy	Dolní polovina těla OT = CT (OT ES 1.76, CT ES 1.44, p > 0.05) Horní polovina těla OT = CT (OT ES 3.17, CT ES, p > 0.05)	Sub-analýza – CT (obsahující běh) < OT (ES 1.23 vs 2.22, p <0.05)
Huiberts et al., 2023	Posouzení pohlavně-specifických rozdílů v adaptaci na CT	**P**: zdraví dospělí (18-50 let) **I**: CT o délce alespoň 4 týdnů **C**: OT	*59; 1 346 *Souhrnný počet pro všechny analýzy	Dolní polovina těla M: OT > CT (ES -0.43, p < 0.001) Ž: OT =VT (ES 0.08, p = 0.72) Horní polovina těla	

		O: maximální síla horní a dolní poloviny těla		M: OT = CT (ES -0.12, p = 0.39) Ž: OT = CT (ES -0.14, p = 0.30)	
Schumann et al., 2022	Posouzení kompatibility OT a VT během CT	**P**: Zdraví dospělí **I**: CT o délce alespoň 4 týdnů, se supervizí **C**: OT **O**: maximální síla (leg press, dřep, unilaterální izometrická extenze v koleni, bilaterální dynamická extenze v koleni	37; 525	OT = CT (ES -0.06, p = 0.446)	
Chen et al., 2024	Posouzení rozdílů mezi OT a CT vzhledem k silovým adaptacím	**P**: zdraví dospělí 18–45 let **I**: CT o délce alespoň 4 týdnů **C**: OT **O**: síla dolní poloviny těla **S:** pouze RCT	34; 799	OT > CT (OT SUCRA 94 %, HIIRT + OT SUCRA 71 %)	RT dosahoval nejvyšší hodnoty SUCRA; HIIRT+OT protokol nejvýhodnější ze všech CT protokolů
Petré et al., 2021	Vliv tréninkového statusu na interferenční efekt	**P**: zdraví dospělí 18–40 let I: CT absolvující OT dolní poloviny těla	27, 750	Netrénovaní OT = CT (ES 0.03, p = 0.87) Středně trénovaní OT = CT (ES -0.20. p = 0.08)	

		C: OT O: maximální síla (dřep, leg press)		Trénovaní OT > CT (ES -0.35, p < 0.01)	
Kang et al., 2022	Srovnání OT a CT u sportovců v týmových sportech	P: sportovci v týmových sportech starší 13 let I: CT C: skupina OT/VT O: 1RM podřep	7, 244	OT < CT (MD 4.20 kg, p = 0.02)	
Pito et al., 2022	Posouzení rozdílů v adaptaci mezi OT a CT vzhledem k max. síle	P: zdraví dospělí (ne – atleti) I: CT o délce alespoň 4 týdnů C: OT O: 1 RM	21, NR	OT = CT HK ES 0.12 p = 0.43 DK ES -0.32, p = 0.19	
Noh et al., 2024	Srovnání vlivu různých typů tréninku (OT/VT/CT) na svalovou sílu a tělesnou kompozici	**P**: muži a ženy **I**: OT, VT, CT **C**: změny hodnot pre- a post- **O**: průměry a směrodatná odchylka (svalová síla) **S**: RCT	25; 1102* *Souhrnný počet pro všechny analýzy	M: bench-press CT > OT > VT (ES 2.25, 1.74 a 0.59) Leg-press CT > OT > VT (ES 2.33, 2.21 a 1.08) Ž: bench-press CT > OT > VT (ES 2.25, 1.97 a 0.28)	Nebyly statisticky porovnávány rozdíly mezi jednotlivými skupinami. CT a OT intervence byly z hlediska

				Leg-press OT > CT > VT (ES 3.38, 3.29, 1.72)	velikosti efektu obdobně efektivní. Znázorněné „pořadí“ je založeno na interpretaci autorů.

OT – odporový trénink, CT – concurrent training, VT – vytrvalostní trénink, MD – průměrný rozdíl, P – populace, I – intervence, C – porovnání, O – typ výsledku, NR – nereporto-váno, > nebo < - výsledek ve prospěch A nebo B, ES – velikost efektu, RCT – randomizované kontrolované studie, HIIT – vysoce intenzivní intervalový trénink, HIIRT – vysoce intenzivní intervalový běh, MICCT – středně intenzivní kontinuální cyklistický trénink, DK – dolní končetiny, HK – horní končetiny, CI – interval spolehlivosti, M – muži, Ž – ženy,

Z tabulky č. 2 lze vyvodit, že ani v rámci výsledků jednotlivých meta-analýz nepanuje naprostá shoda ohledně vlivu CT na rozvoj maximální síly. Pouze ve dvou z meta-analýz však statistická analýza poukázala na vyšší rozvoj maximální síly u CT v porovnání s OT (Kang et al., 2022; Noh et al., 2024). Většina ze studií pak favorizovala OT oproti CT anebo neshledala statisticky významné rozdíly mezi intervencemi. Interpretaci ještě komplikuje fakt, že někteří autoři sice na úrovni hlavní analýzy neshledali rozdíly mezi intervencemi, v rámci sub-analýzy pak určité rozdíly vyvstaly. Moderujícími faktory byly např. trénovanost jedince, modalita vytrvalostní aktivity, pohlaví, analyzované svalové skupiny (Huiberts et al., 2024; Petré et al., 2021; Wilson et al., 2012).

Jedna ze dvou meta-analýz, ve které poskytl CT výhodu proti OT v rozvoji maximální síly byla z dílny autorů Kang a kol. (2022). Tato analýza se soustředila výhradně na kohorty hráčů týmových sportů. Z hlediska svalové síly byl shledán statisticky významný pozitivní efekt CT oproti OT o velikosti 4.2 kg. Z hlediska sub-analýzy je zajímavé i to, že pozitivní efekt CT byl sledován u skupin, které v rámci intervence prováděly jako první VT, následován OT. Oproti tomu intervence, kde byl prováděn první OT následován VT toto zjištění nepotvrdily (zde nebyl významný rozdíl mezi OT a CT). Obě tato zjištění jsou spíše v rozporu s obecným doporučením, že při soustředění se na rozvoj maximální síly je vhodné provádět jako první v pořadí OT (Li et al., 2021; Methenitis, 2018; Murlasits et al., 2018; Ribeiro et al., 2021). Tento nesoulad mohl být způsoben tím, že autoři Kang a kol. (2022) zahrnuli studie ve kterých se různila délka odpočinku mezi OT a VT (v rámci CT protokolu), tedy pokud převládaly studie, kdy byl odpočinek mezi tréninky dostatečný, interferenční efekt byl minimalizován. Dále mohlo sub-analýzu ovlivnit také to, že v rámci frekvence VT > OT byly zahrnuty pouze tři studie. Druhá z meta-analýz poukazující na trend ve prospěch CT proti OT byla provedena autory Noh et al., (2024), v rámci srovnání mezi skupinami však autoři neprovedli statistickou analýzu, která by posoudila změny v čase pre-post mezi skupinami. Byl posuzován pouze efekt času u jednotlivých skupin, na základě toho vznikly určité velikosti efektu pro každou skupinu (CT, OT, VT), které pak autoři porovnali a na základě toho vyvodili závěry ohledně vlivu jednotlivých intervencí na vybrané proměnné. Sub-analýzy u mužů i žen ve většině případů poukázala na nejvyšší velikost efektu právě u CT, výjimkou byla maximální síla v leg-

pressu u žen, kde byla pozorována nejvyšší velikost efektu u skupiny OT (Noh et al., 2024).

Power

Dle mnoha autorů je právě *power* proměnnou, která je v rámci CT nejnáchylnější k interferenčnímu efektu (Eddens et al., 2018; Petré et al., 2021; Wilson et al., 2012). V tabulce č.3 jsou popsány meta-analýzy zabývající se vlivem CT na ukazatele *power*.

Tabulka 3: Meta-analýzy srovnávající vliv CT a OT na rozvoj anaerobního výkonu

Studie	Cíl	PICO kritéria	Počet studií v analýze; počet participantů	Hlavní výsledek	poznámka
Wilson et al., 2012	Identifikovat, které proměnné VT mají negativní vliv na výsledky OT	NR	21*; NR *Souhrnný počet pro všechny analýzy	OT > CT (ES OT 0.91, ES CT 0.55)	Signifikantní vztah mezi frekvencí VT a ES pro *power* (r = -0.35, p < 0.05)
Huiberts et al., 2023	Posouzení pohlavně-specifických rozdílů v adaptaci na CT	**P**: zdraví dospělí (18-50 let) **I**: CT o délce alespoň 4 týdnů **C**: OT **O**: výskokové testy, Wingate	*59; 1 346 *Souhrnný počet pro všechny analýzy	M: OT > CT (ES - 0.27, p = 0.05) Ž: OT > CT (ES – 0.52, p = 0.03)	
Schumann et al., 2022	Posouzení kompatibility OT a VT během CT	**P**: Zdraví dospělí **I**: CT o délce alespoň 4 týdnů, se supervizí **C**: OT **O**: výskokové testy, RFD, další ukazatele *power*	18; 270	OT > CT (ES -0.28, p = 0.007)	Moderující faktory – modalita, týdenní frekvence, rozestup mezi OT a VT

Chen et al., 2024	Posouzení rozdílů mezi OT a CT vzhledem k silovým adaptacím	**P**: zdraví dospělí 18–45 let **I**: CT o délce alespoň 4 týdnů **C**: OT **O**: Výskoky, sprinty **S:** pouze RCT	15; 355	OT < CT (OT SUCRA 73.5 % vs. HIIRT + OT 82.7 %)	
Kang et al., 2022	Srovnání OT a CT u sportovců v týmových sportech	P: sportovci v týmových sportech starší 13 let I: CT C: skupina OT/VT O: CMJ, dřep s výskokem	6, 225	OT = CT (ES = 0.08, p = 0.62)	

OT – odporový trénink, CT – concurrent training, VT – vytrvalostní trénink,, P – populace, I – intervence, C – porovnání, O – typ výsledku, NR – nereportováno, > nebo < - výsledek ve prospěch A nebo B, ES – velikost efektu, RCT – randomizované kontrolované studie, HIIRT – vysoce intenzivní intervalový běh, CI – interval spolehlivosti, M – muži, Ž – ženy, CMJ – dřep s protipohybem

Na základě tabulky č. 3 lze říci, že evidence se přiklání k tomu, že CT negativně ovlivňuje rozvoj „*power* ukazatelů“ avšak i zde nacházíme studii, která poukazuje na to, že CT (při „vhodné kombinaci VT a OT) může v rámci rozvoje tohoto parametru poskytnout výhodu oproti samotnému OT. Znovu je však na místě zmínit metodiku dané meta-analýzy, kdy autoři zvolili bayseovský přístup, porovnávali mezi sebou různé intervence a na základě SUCRA hodnoty určili výsledné pořadí intervencí (Chen et al., 2024).

Přestože v rámci různých experimentálních studiích dochází k interferenčnímu efektu v rámci různých adaptací, vypadá to, že nejčastěji bývá negativně ovlivněna adaptace anaerobního výkonu – „*power*“ (Eddens et al., 2018; Haff & Triplett, 2015; M. J.-C. Lee et al., 2020; Petré et al., 2018). K výskytu interferenčního efektu zřejmě postačí i pár relativně krátkých vytrvalostních tréninků týdně (Häkkinen et al., 2003; Mikkola et al., 2012).

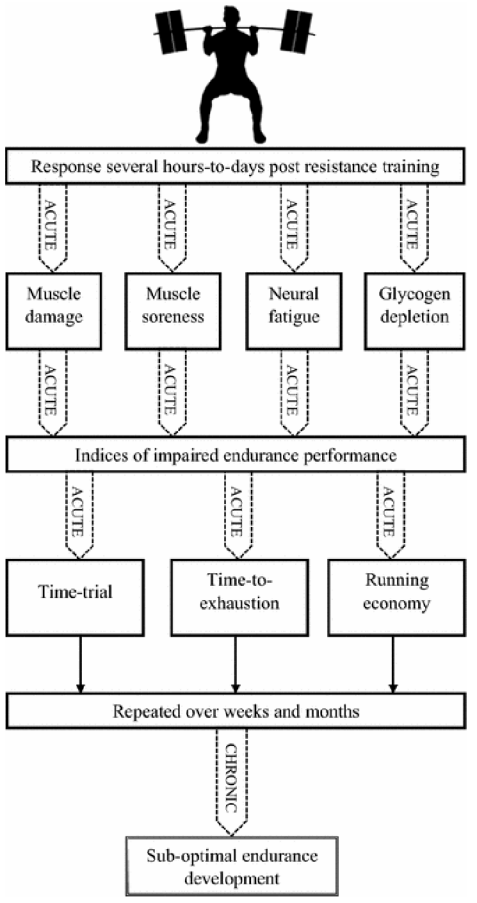
Mechanismus, proč CT v některých případech negativně ovlivní explozivní sílu (*power*) nikoliv maximální sílu, prozatím není vysvětlen. Může za tím stát negativní vliv na rozvoj rychlé dobrovolné neurální aktivace (rapid voluntary neural activation)(Häkkinen et al., 2003). Autoři dále udávají, že se jedná především o negativní vliv na míru rekrutace motorických jednotek a maximální frekvenci jejich výbojů (rate of force development – RFD). Je známo, že odporový trénink (s relativně vysokou zátěží) a balistický odporový trénink mají silný stimulační efekt na RFD (Maffiuletti et al., 2016). Vytrvalostní trénink, kombinovaný s odporovým může však rozvoj RFD narušit, na což poukazuje 21týdenní studie, ve které došlo k nárůstu RFD pouze u skupiny OT, nikoliv CT (Häkkinen et al., 2003). Residuální únava vyvolaná aerobním tréninkem může ovlivnit kortikospinální vstupy přijímané motorickými neurony před generováním síly, což by následně ohrozilo rychlou tvorbu síly (Schumann et al., 2022).

2.7 Interferenční efekt – druhá strana mince

Ačkoliv je obecně interferenční efekt posuzován ve smyslu negativního vlivu vytrvalostního tréninku na silové adaptace, někteří autoři tématiku

posuzují i z opačné perspektivy, tedy, jak odporový trénink může negativně ovlivnit adaptaci na vytrvalostní trénink.

Akutně, po ukončení OT dochází k neuromuskulární únavě, která může trvat až několik dní od ukončení tréninku (Doma et al., 2019). Některé determinanty vytrvalostního výkonu (ekonomika pohybu, čas do vyčerpání) mohou být narušeny až 72 hodin po jednom tréninku dolních končetin (Doma et al., 2019). Autoři přehledové studie z roku 2017 představili model, jak odporový trénink, z dlouhodobého hlediska vede k sub-optimálnímu vytrvalostnímu výkonu (Doma et al., 2017). Odporovým tréninkem vyvolaná únava může skrze několik mechanismů (svalové poškození, svalová bolest, neurální únava, deplece glykogenu) negativně ovlivnit následnou kvalitu vytrvalostního tréninku. To se následně z chronického hlediska může projevit v rámci sub-optimální vytrvalostní adaptace, jak je znázorněno na obrázku č. 8 níže.



Obrázek 8: Model, ve kterém může mít zakomponování OT pro vytrvalce důsledek v sub-optimálním vytrvalostní adaptaci (Doma et al., 2017)

Autoři však závěrem dodávají, že cílem přehledové studie nebylo naznačit, že CT negativně ovlivní rozvoj vytrvalosti. Jejich cílem bylo poukázat na to, že správně metodicky sestavený CT může vytrvalcům přinášet ještě více benefitů (Doma et al., 2017).

Studie dlouhodobě poukazují na důležitost implementace odporového tréninku pro vytrvalostní atlety (Lum & Barbosa, 2019; Yamamoto et al., 2010). Pozitivní vliv odporového tréninku na vytrvalostní výkon je přisuzován zlepšené ekonomice pohybu, zvýšení anaerobní kapacity nebo zvýšení maximální síly a rychlosti, přičemž negativní efekty pozorovány nejsou (Rønnestad & Mujika, 2014; Šuc et al., 2022). Početné přehledové studie zdůrazňují benefity odporového tréninku na vytrvalostní výkon v široké škále sportů, jako jsou běh, cyklistika, plavání, veslování (Denadai et al., 2017; Fone & van den Tillaar, 2022; García-Pallarés & Izquierdo, 2011; Yamamoto et al., 2010). Některé analýzy naznačují, že z hlediska metodiky odporového tréninku je pro optimalizaci vytrvalostního výkonu vhodné kombinovat různé metody tréninku (s vysokým odporem > 80 % 1 RM, plyometrie nebo cvičení se sub-maximální zátěží s cílem co nejvyšší rychlosti provedení) (Llanos-Lagos et al., 2024).

Je důležité adekvátně programovat celkový objem CT, proto studie doporučují spíše odporový trénink o nízkém objemu ,ale vysoké (relativní) intenzitě (Van Hooren et al., 2024). Zmíněné výsledky naznačují, že by vytrvalci měli zařazovat odporový trénink do týdenního tréninkového režimu (Vikestad & Dalen, 2024). Nedávná přehledová studie se zaměřila na sekvenci CT s ohledem na adaptaci v rámci parametrů důležitých pro vytrvalostní výkon (Vikestad & Dalen, 2024). Tato studie naznačila, že z hlediska vytrvalostních adaptací možná není sekvence tréninku tak důležitá. V 11 z 15 případů nebyl významný rozdíl mezi sekvenci OT následovaný VT a *vice versa*. Jedna studie se přiklonila k sekvenci OT následován VT a tři studie k sekvenci VT následován OT (Vikestad & Dalen, 2024). Autoři v závěru zmiňují, že je potřeba kvalitnějších studií, jelikož momentálně není možné vyvodit jakékoliv závěry ohledně vlivu sekvence CT na vytrvalostní adaptace.

Jedna z adaptací, kterou se snaží do určité míry vytrvalci během odporového tréninku tlumit, je svalová hypertrofie. Svalová hypertrofie má vliv na celkovou hmotnost těla, která je klíčovým determinantem energetické náročnosti u vytrvalostních běžců (Van Hooren et al., 2024). Tělesná hmotnost je silně asociována se zvýšením nároků na kyslík, některé analýzy poukazují na to, že zvýšení tělesné hmotnosti o 1 kg je spojeno s nárůstem poptávky na kyslík o 1-1.5 % při běhu. Tyto zvýšené nároky

na kyslík jsou způsobeny například zvýšením množství práce proti gravitaci, snížení kontrakční účinnosti nebo zvýšením aerodynamického odporu skrze zvětšení plochy těla (da Silva et al., 2022; Van Hooren et al., 2024). Proto je potřeba individuálně posoudit případná negativa spojena s hypertrofií během OT a případně nastavit z metodického hlediska trénink tak, aby došlo k maximalizací benefitů a minimalizaci záporů.

Je potřeba individualizovat OT vždy na míru jednotlivci a posuzovat případné benefity i negativa v rámci všech tréninkových adaptací.

- Interferenční efekt je obvykle vázán na „silové“ adaptace (svalová hypertrofie, síla, power).
- Odporový trénink může vytrvalcům z různých disciplín pomoci s optimalizací výkonu.
- Někteří autoři navrhují, že při optimalizaci tréninkové metodiky může odporový trénink vytrvalcům přinášet ještě znatelnější benefity.
- Vytrvalci ze specifických odvětví (např. běh, cyklistika) by měli posoudit případné benefity a rizika spojené s nárůstem svalové hmoty a hmotnosti, případně nastavit metodiku tréninku tak, aby došlo co nejmenšímu nárůstu tělesné hmotnosti.

2.8 Souhrn syntézy poznatků

Z výše popsaných kapitol je zřejmé, že interferenční efekt je multidimenzionální fenomén, do které se promítají faktory spojené s individualitou jedince/sportovce, faktory založené na metodické koncepci tréninku, zkoumaná proměnná, typ testování vybrané adaptace, nutriční faktory. Při plánování tréninku je nutné vzít v potaz všechny tyto faktory, jejich mnohdy komplikovanou interakci, přihlédnout k tréninkové historii jedince. Na základě generalizovaných doporučení vyplývajících z vědecké evidence, pomocí kritického myšlení, aplikovat vhodné postupy a tréninkové metody, a z dlouhodobého hlediska periodizovat trénink pro dosažení individuálních cílů. Vybrané faktory, které jsou popsány v předchozím textu jsou zobrazeny na obrázku č. 9 v závěru této kapitoly na straně 91. Jejich výčet není definitivní a pro jednoduchou orientaci v diagramu nejsou znázorněny vzájemné interakce proměnných.

Závěrem této části přidávám metodologické doporučení, pro sestavení CT pro dva atlety z různých odvětví, které vyplývá ze syntézy poznatků.

A: **Sportovec, jehož cílem je maximalizace adaptace na OT, avšak zároveň chce rozvíjet i kardiovaskulární zdatnost.**

- Frekvence tréninků
  - OT alespoň 3x týdně
  - VT 2x týdně
- Časová proximita
  - OT a VT v samostatných dnech, doba mezi tréninky ideálně 24 hodin
  - Pokud je nutné provést oba tréninky v jeden den, tak rozestup mezi tréninky optimálně 6 a více hodin
- Sekvence tréninků
  - Pokud jsou tréninky prováděny v separátních dnech, není sekvence relevantní
  - Pokud by nastala situace, kdy jsou oba tréninky prováděny v jeden den, tak jako první OT, poté VT
- Intenzita VT
  - Vypadá to, že menší riziko vzniku interferenčního efektu je spojeno s HIIT/SIT/RST (vysoce intenzivní intervalový trénink, intervaly sprintů)
- Modalita VT
  - Vzhledem k použití HIIT tréninku, je dle dostupné evidence možná vhodnější modalitou VT běh
- Nutriční faktory
  - Dostatečný kalorický příjem (příjem kalorií převyšuje výdej kalorií)
  - Příjem bílkovin alespoň ~2 g/kg
  - Příjem sacharidů se bude odvíjet od nastavených parametrů tréninku (se zvyšujícím se objemem, intenzitou a délkou dojde ke zvýšení příjmu sacharidů), obecně v rozmezí 3-12 g/kg
- Tréninkový status
  - Obecně hrozí větší riziko interferenčního efektu u trénovaných jedinců

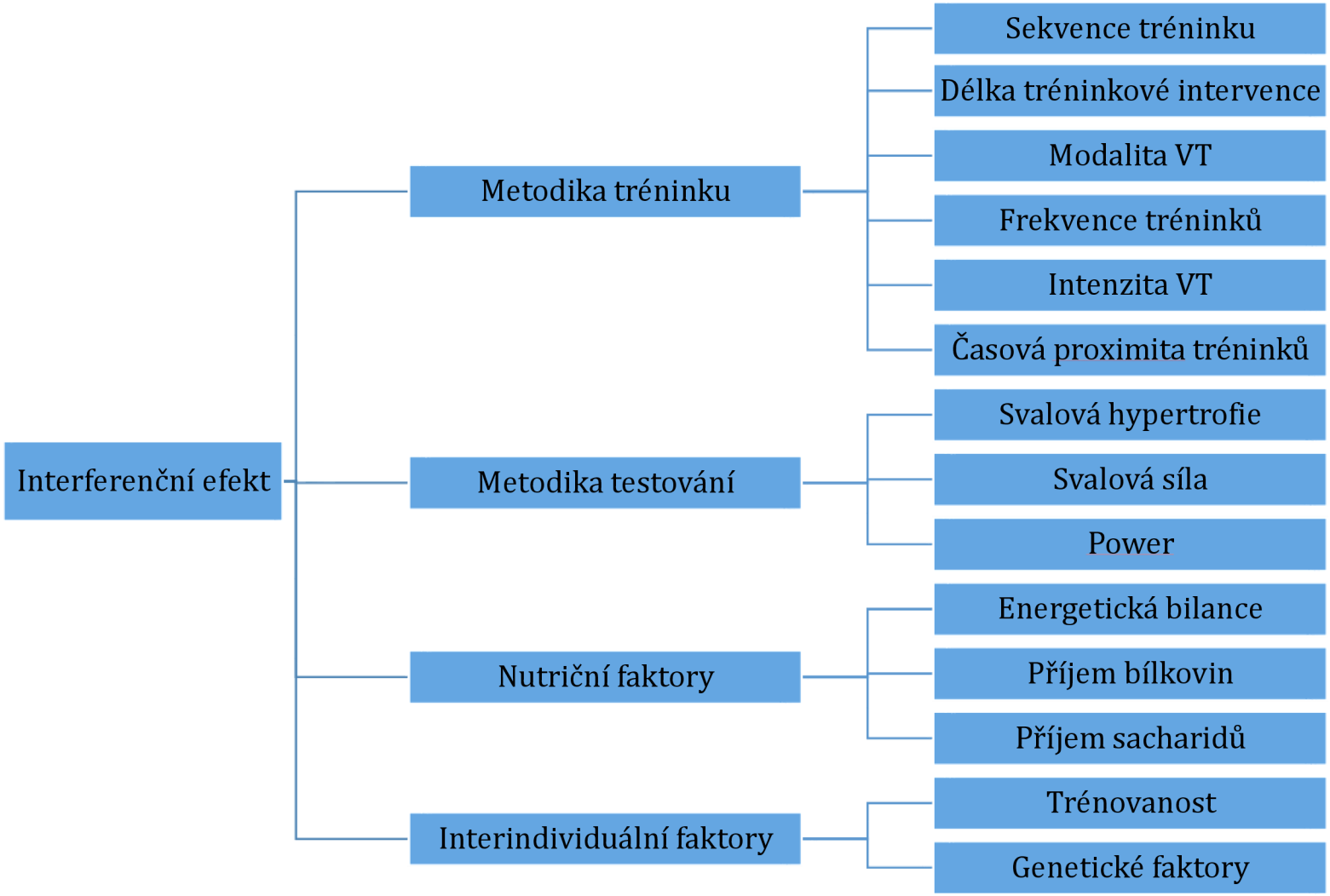
- Čím vyšší úroveň atleta, tím větší důraz je třeba klást na výše zmíněné body

B: **Sportovec (běžec), jehož cílem je zlepšit vytrvalostní výkon a z toho důvodu se rozhodl zařadit OT.**

- Frekvence tréninků
  - VT – velmi individuální, záleží na výkonnostní úrovni, obecně pro zvýšení VO_{2max} 2 a více tréninkových jednotek týdně, s trénovaností objem tréninku (a často frekvence) roste
  - OT – pro optimalizaci silových adaptací alespoň 2x týdně, k udržení adaptace je možné krátkodobě snížit na 1x týdně
- Časová proximita
  - OT a VT v samostatných dnech, doba mezi tréninky ideálně 24 hodin
  - Pokud je nutné provést oba tréninky v jeden den, tak rozestup mezi tréninky optimálně 6 a více hodin
- Sekvence tréninků
  - Pokud jsou tréninky prováděny v separátních dnech, není sekvence relevantní
  - Pokud by nastala situace, kdy jsou oba tréninky prováděny v jeden den, tak jako první VT, poté OT
- Intenzita VT
  - Individuální, dle preferencí a potřeb jedince
- Modalita VT
  - Dle principu specifičnosti (běžec – primárně běh, cyklista – primárně kolo)
- Nutriční faktory
  - Kalorická bilance upravena v závislosti na aktuální fázi přípravy
  - Příjem bílkovin ~1.6-2 g/kg
  - Příjem sacharidů se bude odvíjet od nastavených parametrů tréninku (se zvyšujícím se objemem, intenzitou a délkou dojde ke zvýšení příjmu sacharidů), obecně v rozmezí 3-12 g/kg

- Tréninkový status
    - Obecně diktuje individuální potřeby z hlediska metodologie tréninku a výživy

Tato doporučení vychází z poznatků, které jsou shrnuty v teoretické části práce. Je nutné brát v potaz to, že evidence vyvozuje závěry z průměrných změn v rámci skupin, a v rámci všech průměru nacházíme různé odchylky. V praxi to znamená, že co se v „průměru" jeví jako optimální, nemusí svěřenci z různých důvodů vyhovovat, proto je potřeba kriticky zhodnotit podmínky, vlastnosti „probanda" a podle toho individualizovat a upravit obecná doporučení.



Obrázek 9: Faktory potenciálně ovlivňující interferenční efekt

3 Cíle, výzkumné otázky a hypotézy

3.1 Cíl výzkumu

Cílem výzkumu je porovnat adaptační odpověď na tréninkové zatížení u skupin podstupující samotný odporový trénink nebo concurrent training.

3.2 Výzkumná otázka

VO1: *Jakým způsobem ovlivní concurrent training adaptační odpověď na odporový trénink?*

3.3 Hypotézy

H1: *CT negativně neovlivní maximální sílu horní poloviny těla (1 RM bench-press)*

H2: *CT bude mít negativní vliv na ukazatele power (Wingate test)*

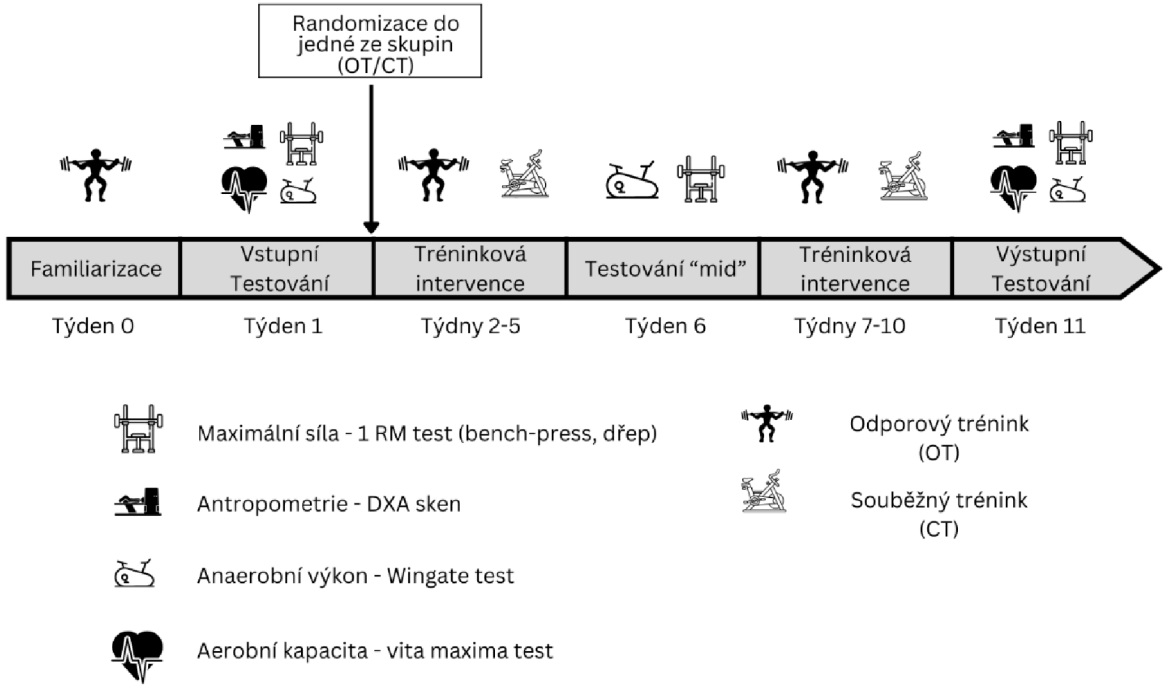
4 Metodika

4.1 Design výzkumu

Byl proveden randomizovaný výzkum s paralelními skupinami s opakovaným měřením. Výzkum byl proveden ve dvou cyklech na přelomu let 2021 a 2022.

První týden výzkumu byl věnován familiarizaci v posilovně, kdy si všichni probandi vyzkoušeli cvičení, která byla později implementována do testování maximální síly (skrze 1 RM) a během samotné tréninkové intervence.

Druhý týden byl věnován vstupnímu měření/testování (složení těla, maximální síla, *power*, aerobní výkon). Na základě výsledků testování 1 RM u cviku dřep, byli probandi seřazeni v pořadí podle dosaženého výkonu (osoba, která zvládla nejvyšší hmotnost byla první v pořadí, osoba, která zvládla hmotnost nejmenší, byla poslední v pořadí). Poté, pomocí generátoru náhodných čísel, byly osoby náhodě rozděleny do skupiny souběžného tréninku (CT) nebo samotného silového tréninku (ST). Prvních 10 osob (čísel) bylo zařazeno do skupiny CT. Design výzkumu je znázorněn na obrázku č. 10 níže.



Obrázek 10: Design výzkumu

4.2 Výzkumný vzorek

Do studie bylo zařazeno 20 zdravých, rekreačně aktivních mužů (průměrný věk 23.4 ± 2.98 let, průměrná hmotnost 79.94 ± 10.03 kg, průměrná výška 180.79 ± 7.03 cm). Účastníci museli být zdraví a schopni dokončit 8týdenní tréninkovou intervenci. Muselo se jednat o muže mezi 18 a 30 lety, kteří v minulém roce neprošli tréninkem kombinujícím odporová a vytrvalostní cvičení. Účastníci museli být netrénovaní nebo pouze rekreačně aktivní, což znamená, že nepodstupovali plánovaný, strukturovaný trénink.

Před zahájením studie byli účastníci informováni o designu výzkumu. Poté, co bylo zjištěno, že probandi splňují kritéria pro zařazení do výzkumu, podepsali informovaný souhlas. Etická komise Masarykovy univerzity schválila projekt pod číslem jednacím EKV-2020-088. Celý proces výzkumu absolvovalo 15 účastníků. Jeden účastník odstoupil během vstupního testování kvůli nemoci. Tři účastníci odstoupili během tréninkové intervence z důvodu nemoci (jeden účastník) nebo zranění dolní končetiny (dva účastníci). Jeden účastník byl vyloučen ex-post kvůli chybějícím datům ze vstupního testování, kdy selhal software použitý pro test Wingate, a my jsme nemohli obnovit chybějící data. Celý výzkumný cyklus absolvovalo 75 % probandů. Základní charakteristika vzorku je uvedena v tabulce č. 4.

Tabulka 4: Základní popis participantů

Intervenční skupina	Počet (n)	Věk (roky)	Výška (cm)	Hmotnost (kg)
OT	7	21.75 ± 2.38	183.6 ±8.14	77.86 ± 10.56
CT	8	25.29 ± 2.81	178.34 ± 5.84	81.77 ± 10.57

OT – skupina provádějící pouze odporový trénink, CT – skupina provádějící concurrent training

4.3 Měření tělesného složení

Tělesné složení bylo měření pomocí přístroje DXA (DXA; Horizon A, Hologic Inc. Marlborough, MA) ve dvou časových bodech (vstupní týden a

výstupní týden). Probandi se na měření dostavili v ranních hodinách (7:00 – 9:15) na lačno. U všech probandů bylo měření zajištěno stejným technikem. Pokud je měřící protokol standardizován a proveden za podmínek, kdy jsou měřené osoby na lačno, jedná se o reliabilní a validní nástroj pro posouzení tělesné hmotnosti a kompozice (Nana et al., 2012).

4.4 Testování anaerobního výkonu (Wingate test)

Testování proběhlo za použití bicyklového ergometru Lode Excalibur Sport (Groningen – Netherlands). Před samotným testováním byl ergometr nastaven dle individuálních požadavků probandů (výška sedla, výška a vzdálenost řídítek).
Po nastavení a usazení do sedla proband absolvoval 5minutovou rozcvičku, kdy byla kadence udržována okolo 60 otáček za minutu a zátěž byla nastavena na 1 W/kg. Během posledních deseti vteřin rozcvičení proband zvýšil kadenci na 100 otáček za minutu. Po uplynutí 5minutového rozcvičení byl spuštěn samotný Wingate protokol. Odpor pedálů byl nastaven na 7 % participantovy hmotnosti. Hmotnost byla měřena před každým Wingate testem (před intervencí, po 4 týdnech intervence, po intervenci). Během 30vteřinového Wingate testu byl proband verbálně povzbuzován za účelem udržení maximální možné kadence. Během Wingate testu byly sledovány tyto parametry – absolutní (W) a relativní „peak *power*“ (W/kg), absolutní (W) a relativní (W/kg) „mean *power*“. Wingate test je považován za validní a přesný ukazatel anaerobního výkonu (Bar-Or, 1987).

4.5 Testování aerobní zdatnosti (test do Vita maxima)

Testování proběhlo na bicyklovém ergometru Lode Excalibur Sport (Groningen – Netherlands), tepová frekvence byla snímání pomocí hrudního pasu Polar H10. Respirační parametry byly monitorovány pomocí zařízení Cortex METALYZER® 3B (Leipzig – Germany) a vyhodnoceny softwarem MetaSoft® Studio software.

Před začátkem testu byl ergometr nastaven dle individuálních požadavků probanda (výška sedla, výška a vzdálenost řídítek). Souběžně s nastavením ergometru byla provedena rovněž kalibrace snímače respiračních parametrů (dle doporučení výrobce).

Úvodem testování každý proband absolvoval 30vteřinový úsek, kdy šlapal bez odporu pedálů. Během tohoto času bylo cílem zvyknout si na kadenci. Kadence musela být během testu udržována v rozmezí 70-80 otáček za minutu. První zátěž po úvodním 30vteřinovém úseku byla nastavena na 1 watt na kilogram tělesné hmotnosti probanda (1 W/kg). Protokol byl nastaven na rampový (kontinuálně se zvyšoval odpor) a zvýšení odporu bylo nastaveno na 0.3 W/kg/min. Díky tomu byla délka testu u probandů v rozmezí 6–13 minut. Test mohl být ukončen za dvou podmínek. Jednalo se o dosažení objektivního anebo subjektivního maxima. Objektivní maximum bylo posouzeno dle dosažení poměru respiračních plynů (RER) většího než 1.15 a dosaženého plató efektu spotřeby kyslíku (VO_2).

4.6 Testování maximální síly (1 RM)

Všichni probandi se seznámili se cvičením v posilovně během týdne, který předcházel vstupnímu týdnu. Během zmíněného týdne bylo cílem seznámení se se správnou technikou cvičení, s důrazem kladeným především na cvičení, které poslouží pro testování maximální síly – dřep, bench press. Díky použití těchto dvou cviků bylo zajištěno objektivní posouzení maximální síly pro dolní i horní polovinu těla. Testování maximální síly bylo provedeno s odstupem alespoň 48 hodin po procedurách vita maxima/wingate test. Testovací protokol byl standardizován podle doporučení „American Society of Exercise Physiologist“ (Brown & Weir, 2001).

Úvodem všichni probandi provedli obecné zahřátí organismu (dynamický strečink, jízda na kole, běh na páse, skákání na místě, veslování apod.). Po obecné části následovala specifická část. V rámci první série probandi provedli 8 opakování s 50 % předpokládané 1 RM. Po dvouminutovém odpočinku probandi provedli 3 opakování se 70 % předpokládané 1 RM. Další série byly o jednom opakování s progresivně se zvyšující zátěží s cílem zjistit 1 RM. Hmotnost závaží byla v sériích o jednom opakování zvyšována takovým způsobem, aby bylo 1 RM dosaženo v rozmezí 3-5 sériích o jednom opakování. Mezi sériemi o jednom opakování byl odpočinek v rozmezí 3-5 minut. Člen výzkumného týmu kontroloval každé opakování za účelem zajistit maximální bezpečí probandů a zabezpečit korektní provedení z hlediska metodiky cviků. Procedura 1 RM je

považována za zlatý standard z hlediska testování maximální síly a vykazuje dobrou až excelentní „test-retest“ reliabilitu (Grgic et al., 2020; NSCA-National Strength & Conditioning, 2012).

Dřep

Provedení cviku dřep začalo zvednutím olympijské osy se závažím ze stojanu. Testovaná osoba poté vystoupila ze stojanu směrem vzad. Následně testovaná osoba provedla dřep a po dosažení požadované hloubky se vrátila do startovní pozice. Jeden z členů výzkumného týmu probandům poskytoval případnou pomoc, druhý člen výzkumného týmu kontroloval dosažení požadované hloubky.

Bench-press

Tento cvik byl iniciován zvednutím činky ze stojanu, s následným přesunem nad oblast hrudníku, do pozice, kdy byly paže v extenzi v lokti. Poté byla činka brzděna směrem dolů (na spodní část hrudníku), po doteku činky s hrudníkem bylo cílem probandů vytlačit činku znovu do pozice nad hrudníkem, s pažemi v plné extenzi v lokti.

4.7 Tréninková intervence

Byla použita tréninková intervence, kterou ve své studii použili Fyfe et al. (2016). Vzhledem k potřebnému vybavení a specifičnosti testování maximální síly byly v případě tréninkové intervenci provedeny některé změny – pro testování síly byl použit dřep, nikoliv leg-pressu, proto byl i v rámci intervence zvolen dřep namísto původního leg-pressu. V případě vytrvalostního tréninku se změna týkala kalkulace tréninkové intenzity. Intenzita vytrvalostního tréninku byla vypočtena z procenta bodu respirační kompenzace[2]. Během tréninkové intervence probandi monitorovali intenzitu skrze přidělené sporttestery spárované s hrudník pasem pro přesné snímání srdeční frekvence. Tréninkovou intervenci probandi započali s minimálním odstupem 3 dní po absolvování poslední procedury vstupního týdne. Obě tréninkové skupiny (ST i CT) absolvovaly

[2] Bod respirační kompenzace je bod, ve kterém se zvyšuje intenzita cvičení a v důsledku akumulace H^+ iontů začíná nadměrné vylučování oxidu uhličitého respirační kompenzací (Kominami et al., 2022).

totožný program odporového tréninku. Skupina CT po každé jednotce odporového tréninku absolvovala i vytrvalostní trénink (vždy s 15minutovým odstupem mezi tréninkovými jednotkami. Délka tréninkové intervence byla 8 týdnů.

Odporový trénink

Odporový trénink zahrnoval tři tréninkové jednotky týdně. Během prvního a třetího tréninku v rámci týdně probandi absolvovali dřepy, bench-press, veslování na stroji, předkopávání v sedě, zakopávání v leže. Druhá tréninková jednotka v rámci týdne zahrnovala dřep, bench-press s jednoručními činkami, stahování kladky nadhmatem k hrudníku, výpady s jednoručkami, zakopávání v leže. Všechny cviky byly prováděny s intenzitou v rozmezí 65–95 % 1 RM (14–4 opakování). Odpočinek mezi sériemi byl stanoven na 2–3 minuty. V případě cviků, u kterých nebylo stanoveno 1 RM byla zátěž stanovena na základě maximálního počtu opakování se specifickou zátěží. V praxi pak probandi během prvního týdně prováděli 12 opakování s hmotností, se kterou byli schopni provést maximálně 14 opakování. Před provedením první pracovní série tedy museli zjistit maximální hmotnost závaží pro 14 opakování daného cviku. Tabulka č. 5 s popisem progrese odporového tréninku je přiložena níže.

Tabulka 5: Popis odporového tréninku

	Týden 1	Týden 2	Týden 3	Týden 4	Týden 5	Týden 6	Týden 7	Týden 8
Den 1/3								
Série x opakování	3x12	3x10	3x8	3x6	4x6	4x6	4x4	5x4
RM zátěž	14	12	9	7	7	7	4	4
Odpočinek mezi sériemi (min)	2	2	2	3	3	3	3	3
% 1 RM	65	70	77.5	82,5	82,5	87,5	90	90
Den 2								
Série x opakování	3x12	3x12	3x10	3x10	3x8	3x8	4x6	3x6
RM zátěž	14	14	12	12	9	9	7	7
Odpočinek mezi sériemi (min)	2	2	2	2	2	2	2	2
% 1 RM	65	65	70	70	77,5	77,5	87,5	87,5

Vytrvalostní trénink

Vytrvalostní trénink byl prováděn vždy 15 minut po odporovém tréninku. Délka vytrvalostního tréninku byla v rozmezí 15 až 33 minut. Intenzita tréninku se postupně zvyšovala z 80 % na 100 % bodu respirační kompenzace. Bod respirační kompenzace byl vypočítán z dat charakterizujících výměnu respiračních plynů během testování do vita maxima. Vytrvalostní trénink byl prováděn na stacionárním kole. Během tréninku měli probandi na hrudi připevněn snímač srdeční frekvence, který přenášel data do hodinek, které měli probandi buďto připevněné na zápěstí,

případně na řídítkách před sebou., aby byli schopni udržovat srdeční frekvenci v požadovaném rozmezí. Tabulka č. 6 s popisem progrese vytrvalostního tréninku je přiložena níže.

Tabulka 6: Popis vytrvalostního tréninku

	Tréninkový den	Délka tréninku (minuty)	Intenzita tréninku (% of the point of respiratory compensation)
1	1	15	80
	2	18	80
	3	21	80
2	1	18	80
	2	24	80
	3	21	80
3	1	24	86,7
	2	27	86,7
	3	24	86,7
4	1	21	86,7
	2	18	86,7
	3	15	86,7
5	1	21	93,3
	2	24	93,3
	3	27	93,3
6	1	24	93,3
	2	27	93,3
	3	30	93,3
7	1	27	93,3
	2	33	93,3
	3	30	93,3
8	1	27	93,3
	2	21	93,3
	3		

4.8 Statistická analýza

Lineární model se smíšeným efektem

Hodnotili jsme vztah mezi hodnotou měřených veličin a počtem měření (časový efekt) u souběžné/silové tréninkové skupiny. Pro tento účel byla analýza provedena pomocí lineárních modelů se smíšenými efekty, kde náhodný efekt je ID subjektu a fixním efektem je interakce času tréninku a měření. Pro každou ze zkoumaných proměnných jsme vytvořili dva analogické modely, v každém jsme zvolili jako referenční skupinu jinou tréninkovou skupinu (pro účely získání p-hodnot pro obě skupiny). Výsledný výstup z obou modelů uvádíme v doprovodných tabulkách pro každou proměnnou. Statistická významnost byla stanovena na $P < 0.05$
Statistická analýza byla provedena pomocí R (verze 4.2.1).

Velikost efektu (effect size)

V naší statistické analýze jsme vypočítali Cohenovo d, abychom určili velikost účinku v průběhu času u každé tréninkové skupiny. Tento přístup nám umožnil kvantifikovat velikost změny nebo rozdílu v každé skupině, což nám poskytlo jasné pochopení dopadu intervence za specifikované období.
Velikost účinku byla kvantifikována pomocí prahů definovaných Cohenem (Cohen, 1992). Velikost efektu byla hodnocena pomocí prahů poskytnutých Cohenem (Cohen, 1992), tj. $|d|<0.2$ „zanedbatelný“, $|d|<0.5$ „malý“, $|d|<0.8$ „střední“, jinak „velký“.

5 Výsledky

V následující sekci budou prezentovány výsledky výzkumu. Pro lepší přehlednost budou výsledky prezentovány formou tabulek, které doplní krátký slovní komentář.

Tabulka 7: Srovnání výsledků ve dřepu a bench-pressu

		Coef	*95% IS*	*p-hodnota*	*p-hodnota*
Průměr dřep (před intervencí)	OT	100.36	84.63; 116.08	<0.001	
	CT	118.19	103.48; 132.9	<0.001	
	Rozdíl	17.83	-4.88; 40.54		0.114
Průměrná změna ve dřepu mezi měřeními	OT	8.71	6.34; 11.09	<0.001	
	CT	10.19	7.97; 12.41	<0.001	
	Rozdíl	1.47	-1.78; 4.73		0.362
Průměr bench-press (před intervencí)	OT	75.69	63.21; 88.17	<0.001	
	CT	84.27	72.6; 95.95	<0.001	
	Rozdíl	8.58	-9.44; 26.6		0.322
Průměrná změna bench-press mezi měřeními	OT	3.71	1.72; 5.71	0.001	
	CT	3.53	1.67; 5.4	0.001	
	Rozdíl	-0.18	-2.91; 2.55		0.892

Tabulka 7 srovnává výchozí hodnoty a změny v čase v rámci testování maximální síly (1 RM) pro bench-press a dřep. V čase před začátkem intervence nebyl statisticky významný rozdíl mezi skupinami ve dřepu ani bench-pressu ($p = 0.114$ respektive $p = 0.322$). Mezi měřeními (pre-mid, mid-post) došlo k statisticky významnému nárůstu hodnot ve dřepu a bench pressu u obou skupin (v obou případech $p < 0.001$) změny mezi skupinami nebyly statisticky významné (0.362 pro dřep a 0.892 pro bench-press).

Tabulka 8: Srovnání výsledků v rámci Wingate testu

		Coef	*95% CI*	*p-hod-nota*	*p-hodnota*
Průměr Wingate "peak power" (W) před intervencí	OT	914.76	757.35; 1072.18	<0.001	
	CT	979.08	831.83; 1126.33	<0.001	
	Rozdíl	64.32	-163.01; 291.65		0.552
Průměrná změna Wingate „peak power" (W) mezi měřeními	OT	46.57	7.06; 86.09	0.023	
	CT	50.19	13.23; 87.15	0.01	
	Rozdíl	3.62	-50.49; 57.72		0.892
Průměr Wingate „peak power" (W/kg) před intervencí	OT	12	10.38; 13.62	<0.001	
	CT	12.29	10.77; 13.81	<0.001	
	Rozdíl	0.29	-2.05; 2.63		0.791
Průměrná změna Wingate „peak power" (W/kg) mezi měřeními	OT	0.48	-0.05; 1.01	0.072	
	CT	0.48	-0.01; 0.97	0.056	
	Rozdíl	0	-0.72; 0.72		0.999
Průměr Wingate „mean power" (W) před intervencí	OT	632.28	539.64; 724.91	<0.001	
	CT	666.75	580.1; 753.41	<0.001	
	Rozdíl	34.48	-99.3; 168.25		0.587
Průměrná změna Wingate „mean power" W mezi měřeními	OT	15.52	1.5; 29.54	0.031	
	CT	20.22	7.1; 33.33	0.004	
	Rozdíl	4.7	-14.5; 23.9		0.62
Průměr Wingate „mean power" (W/kg) před intervencí	OT	8.23	7.47; 9	<0.001	
	CT	8.35	7.64; 9.06	<0.001	
	Rozdíl	0.12	-0.99; 1.22		0.822

Průměrná změna Wingate „mean power“ (W/kg) mezi měřeními	OT	0.13	-0.02; 0.29	0.096	
	CT	0.16	0.01; 0.3	0.037	
	Rozdíl	0.02	-0.19; 0.24		0.812

Tabulka 8 srovnává skupiny CT a OT s ohledem na výkon v rámci Wingate testu. Před intervencí nebyly mezi skupinami v rámci žádné sledované proměnné významné rozdíly. V průběhu času (pre-mid a mid-post) došlo k statisticky významnému zlepšení v rámci parametrů „peak power (W)“, „mean power (W)“ u obou skupin. U skupiny CT se v čase významně změnila i hodnota „mean power (W/kg)“ kdežto u skupiny OT změna v tomto parametru statisticky významná nebyla. Srovnání změny mezi skupinami v rámci „mean power (W/kg)“ nebylo statisticky významné (p = 0.812). Stejně tak ani u ostatních parametrů nebyly změny v porovnání mezi skupinami statisticky významné (všechna p > 0.05).

Tabulka 9: Srovnání výsledků v rámci testu do Vita maxima

		Coef	95 % CI	p-hodnota	p-hodnota
Průměr vita max V´O2 (kg) ml/min/kg před intervencí	OT	47.42	41.44; 53.4	<0.001	
	CT	45.56	39.97; 51.16	<0.001	
	Rozdíl	-1.86	-10.05; 6.34		0.633
Průměrná změna vita max V´O2 (kg) ml/min/kg mezi měřeními	OT	-1.38	-3.06; 0.3	0.099	
	CT	-0.89	-2.45; 0.68	0.244	
	Rozdíl	0.49	-1.8; 2.79		0.65

Tabulka 9 srovnává vstupní hodnoty i změnu v čase v rámci maximálního příjmu kyslíku mezi skupinami OT a CT. Před začátkem intervence nebyl statisticky významný rozdíl mezi skupinami. Změna v čase rovněž nebyla u obou skupin statisticky významná. Obdobně ani rozdíl mezi skupinami v porovnání „pre-post“ nebyl významný (0.65).

Tabulka 10: Srovnání výsledků v rámci měření tělesné kompozice pomocí DXA

		Coef	95 % CI	p-hodnota	p-hodnota
Průměr DXA hmotnost před intervencí	OT	76.33	67.42; 85.25	<0.001	
	CT	80.03	71.69; 88.37	<0.001	
	Rozdíl	3.7	-8.51; 15.9		0.524
Průměrná změna DXA hmotnost mezi měřeními	OT	1.52	0.57; 2.48	0.004	
	CT	1.74	0.84; 2.63	0.001	
	Rozdíl	0.22	-1.09; 1.52		0.728
Průměr DXA bez-tuková hmota před intervencí	OT	58.22	51.52; 64.93	<0.001	
	CT	59.67	53.4; 65.94	<0.001	
	Rozdíl	1.45	-7.73; 10.62		0.739
Průměrná změna DXA bez-tuková hmota mezi měřeními	OT	1.12	0.31; 1.93	0.011	
	CT	0.9	0.14; 1.65	0.024	
	Rozdíl	-0.22	-1.33; 0.89		0.675
Průměr DXA bez-tuková hmota horní poloviny těla před intervencí	OT	37.62	33.56; 41.68	<0.001	
	CT	38.75	34.96; 42.55	<0.001	
	Rozdíl	1.13	-4.42; 6.69		0.667
Průměrná změna DXA bez-tuková hmota horní poloviny těla mezi měřeními	OT	0.6	0.09; 1.1	0.024	
	CT	0.38	-0.09; 0.84	0.108	
	Rozdíl	-0.22	-0.91; 0.47		0.501
Průměr DXA bez-tuková hmota dolní poloviny těla před intervencí	OT	20.6	17.78; 23.43	<0.001	
	CT	20.92	18.28; 23.56	<0.001	
	Rozdíl	0.32	-3.55; 4.18		0.863
Průměrná změna DXA bez-tuková hmota dolní poloviny těla mezi měřeními	OT	0.52	0.1; 0.94	0.019	
	CT	0.52	0.13; 0.91	0.013	
	Rozdíl	0	-0.57; 0.57		0.999

Průměr DXA tuková hmota před intervencí	OT	15.28	12.12; 18.44	<0.001	
	CT	17.49	14.54; 20.44	<0.001	
	Rozdíl	2.21	-2.11; 6.53		0.289
Průměrná změna DXA tuková hmota mezi měřeními	OT	0.39	-0.07; 0.84	0.091	
	CT	0.86	0.44; 1.29	0.001	
	Rozdíl	0.48	-0.15; 1.1		0.124
Průměr DXA % tuku před intervencí	OT	20.14	17.46; 22.83	<0.001	
	CT	21.79	19.27; 24.3	<0.001	
	Rozdíl	1.64	-2.03; 5.32		0.352
Průměrná změna DXA % tuku mezi měřeními	OT	0.07	-0.48; 0.63	0.785	
	CT	0.54	0.02; 1.06	0.043	
	Rozdíl	0.47	-0.29; 1.23		0.208

Tabulka 10 je věnována srovnání výsledků z měření tělesné kompozice pomocí DXA. Před intervencí nebyl v rámci sledovaných parametrů mezi skupinami žádný významný rozdíl. V období „pre-post“ došlo k statisticky významným změnám v rámci celkové hmotnosti, bez-tukové hmoty, bez-tukové hmoty dolní poloviny těla (u obou skupin $p < 0.05$). V rámci bez-tukové hmoty horní poloviny těla došlo k statisticky významné změně pouze u skupiny OT ($p = 0.024$), oproti tomu statisticky významné zvýšení tukové hmoty bylo pozorováno pouze u skupiny CT ($p = 0.001$), obdobně i % tukové hmoty bylo statisticky významně zvýšeno pouze u skupiny CT ($p = 0.043$). V rámci žádného parametru však nebyly pozorovány statisticky významné rozdíly mezi skupinami (ve všech případech $p > 0.05$).

Tabulka 11: Srovnání velikosti efektu pro jednotlivé proměnné

		CT		OT	
		ES	95 % CI	ES	95 % CI
Dřep	pre-mid	1.15	0.62; 1.67	0.45	0.26; 0.63
	pre-post	1.62	0.85; 2.39	0.67	0.45; 0.89
	mid-post	0.56	0.28; 0.84	0.22	0.14; 0.31
Bench-press	pre-mid	0.38	0.15; 0.62	0.24	-0.02; 0.50
	pre-post	0.55	0.15; 0.95	0.38	0.09; 0.67
	mid-post	0.13	-0.06; 0.31	0.12	-0.02; 0.27
Wingate peak power (W)	pre-mid	0.60	0.09; 1.11	0.23	-0.03; 0.50
	pre-post	0.60	-0.20; 1.39	0.42	0.15; 0.70
	mid-post	0.02	-0.39; 0.43	0.21	-0.06; 0.49
Wingate peak power (W/kg)	pre-mid	0.61	-0.03; 1.25	0.22	-0.21; 0.65
	pre-post	0.60	-0.47; 1.68	0.46	0.11; 0.80
	mid-post	-0.04	-0.69; 0.62	0.26	-0.22; 0.75
Wingate mean power (W)	pre-mid	0.33	0.05; 0.60	0.27	0.08; 0.46
	pre-post	0.34	0.04; 0.63	0.25	-0.02; 0.52
	mid-post	0.03	-0.10; 0.16	-0.02	-0.19; 0.15
Wingate mean power (W/kg)	pre-mid	0.29	0.03; 0.56	0.28	-0.03; 0.59
	pre-post	0.24	-0.04; 0.53	0.26	-0.15; 0.68
	mid-post	-0.02	-0.20; 0.16	-0.02	-0.35; 0.31
Vita max V´O2 (kg) ml/min/kg	pre-post	-0.12	-0.38; 0.14	-0.19	-0.33; -0.05
DXA hmotnost	pre-post	0.09	0.04; 0.15	0.13	0.07; 0.18
DXA bez-tuková hmota	pre-post	0.10	0.00; 0.19	0.10	0.05; 0.15
DXA tuková hmota	pre-post	0.19	0.08; 0.29	0.13	0.00; 0.27
DXA % tuku	pre-post	0.10	-0.01; 0.20	0.03	-0.16; 0.22

Slovní interpretace velikosti efektu (ES) - d| <0.2 „zanedbatelný“, |d| <0.5 „malý“, |d| <0.8 „střední“, jinak „velký“

Tabulka č. 11 vyjadřuje tzv. věcnou významnost (ES – velikost efektu) změn v rámci sledovaných parametrů. Jsou viditelné určité rozdíly, případně trendy v rámci různých adaptací. Ve dřepu byl u skupiny CT pozorován velký efekt při porovnání pre-post (ES 1.62), u skupiny OT byl pozorován efekt střední (ES 0.67). V bench-pressu byl v porovnání změn pre-post pozorován střední efekt (ES 0.55) u skupiny CT, malý efekt u skupiny OT (ES 0.38). Podobný trend je vidět i při srovnání peak

power v rámci Wingate testu, i zde byla velikost efektu ve prospěch skupiny CT (střední efekt vs. malý efekt). U dalších sledovaných proměnných nebyly rozdíly mezi skupinami pozorovány.

6 Diskuse

Cílem studie bylo porovnat vliv OT a CT v rámci adaptační odpovědi na 8týdenní tréninkový program u rekreačně aktivních mužů. Hlavním zjištěním je, že z hlediska výsledků nebyl prokázán interferenční efekt u žádné z proměnných. Rozdíly mezi skupinami v rámci sledovaných proměnných nebyly statisticky významné. Velikost efektu však naznačuje určité rozdíly z hlediska adaptace mezi skupinami OT a CT v rámci některých parametrů.

V kapitole č. 3 byla formulována výzkumná otázka, na kterou navazovaly dvě hypotézy. Následující část práce se bude věnovat zodpovězení výzkumné otázky a testování hypotéz.

VO1: ***Jakým způsobem ovlivní concurrent training adaptační odpověď na odporový trénink?***

Na základě výsledků lze obecně říci, že CT neovlivnil negativním způsobem adaptaci na odporový trénink. Nebyl pozorován interferenční efekt.

Vzhledem k obsáhlosti diskuze týkající se vlivu CT na adaptační odpověď budou příští řádky věnovány testování hypotéz a jednotlivé silové adaptace budou popsány a konfrontovány s odbornou literaturou v další části textu.

H1: CT negativně neovlivní maximální sílu horní poloviny těla (1 RM bench-press)

Vzhledem k výsledkům statistické analýzy lze říci, že CT v porovnání s OT neovlivnil negativním způsobem sílu horní poloviny těla ($p = 0.892$), a analýza velikosti efektu naopak poukazuje ve prospěch skupiny CT v porovnání časových bodů pre-post 0.55 (střední efekt) vs 0.38 (malý efekt). **Na základě těchto výsledků hypotézu nezamítáme**.

H2: CT bude mít negativní vliv na ukazatele power (Wingate test)

Na základě analýzy výsledků nelze říci, že by měl CT, při porovnání s OT, negativní vliv na *power*. V žádné ze sledovaných proměnných nebyl statisticky významný rozdíl mezi skupinami ($p > 0.05$). Analýza velikosti

efektu u některých proměnných ve Wingate testu byla ve prospěch skupiny CT v porovnání se skupinou OT (např. relativní a absolutní „peak *power*" viz. Tabulka č. 11). **Na základě výsledků hypotézu zamítáme.**

Maximální síla

Nárůst maximální síly v bench-pressu a dřepu byl u obou skupin v obou časových bodech (po 4 týdnech intervence a po ukončení intervence) statisticky významný. Rozdíl mezi skupinami nebyl statisticky významný ($p > 0.05$). Velikost efektu v rámci změn maximální síly ve dřepu poukázala na významnější nárůst síly u skupiny CT, jelikož v rámci porovnání změn byla velikost efektu ve všech porovnáních vyšší u skupiny CT. Velikost efektu při porovnání pre-mid a pre-post byla 1.15 a 1.62 (velký efekt) pro skupinu CT a 0.45, 0.67 (malý a střední efekt) pro skupinu CT (viz. Tabulka 11). Ačkoliv z hlediska statistické významnosti mezi skupinami rozdíly nebyly, velikost efektu poukazuje na rozdíly, a to ve prospěch skupiny CT. To naznačuje, že u rekreačně aktivních osob, může v brzké fázi tréninku (do 8 týdnů) vytrvalostní trénink společně s odporovým působit synergicky v rámci rozvoje maximální síly dolních končetin. Tento efekt by podporoval hypotézu autorů Coffey & Hawley (2017), kteří tvrdili, že v prvních týdnech po začátku tréninku, mechanosensory a navazující adaptivní signály selhávají v rozlišení mezi stimulem ve formě odporového a vytrvalostního tréninku a tedy VT může vést k určité míře rozvoje síly a hypertofie (Coffey & Hawley, 2017). To však nevysvětluje stejný trend z hlediska rozvoje síly u horní poloviny těla (bench-press), ačkoliv zde rozdíly ve velikosti efektu nebyl tak značný jako u dřepu, i přesto hovořil ve prospěch skupiny CT (CT ES 0.55, OT ES 0.38), jelikož VT byl prováděn formou cyklistiky, kdy nedochází k zapojení horní části těla. Trend ve prospěch skupiny CT, v porovnání s OT reportuje i nedávná meta-analýza, ve které autoři poukázali na výraznější efekt CT (velikost efektu u mužů 2.25) oproti OT (velikosti efektu u mužů 1.74) v rámci bench-pressu (Noh et al., 2024).

Například ve studii autorů Laird a kol. (2016) autoři také pozorovali rozdíly z hlediska velikosti efektu intervence u skupin CT a OT (vzorek byl složen z 28 rekreačně aktivních žen), kdy v rámci maximální síly ve dřepu autoři reportovali pro skupinu CT ES 4.09 a pro skupinu OT ES 1.82, ani v tomto případě však rozdíly mezi skupinami nebyly statisticky významné (Laird et al., 2016). Také recentní meta-analýza v rámci

posouzení vlivu různých typů tréninku, poukázala na trend, ve prospěch CT, kdy velikost efektu pro CT a OT v rámci leg pressu byla 2.33 (CT) vs. 2.21 (OT). Je možné v rámci evidence dohledat i další studie, kde procentuální nárůst síly hovoří ve prospěch skupiny CT, avšak obvykle z hlediska statistických výpočtů rozdíly nejsou významné (Balabinis et al., 2003). Ve většině studií však CT nevede k větší míře svalové síly nežli OT, a často je tato adaptace doprovázena interferenčním efektem, a to především u trénovaných osob (Huiberts et al., 2024; Petré et al., 2018; Sabag et al., 2018; Schumann et al., 2022).

Tělesná kompozice

V rámci tělesné kompozice nebyly sledovány žádné významné rozdíly mezi skupinami. Obě skupiny zvýšily množství bez-tukové hmoty, bez významného rozdílu mezi skupinami ($p = 0.675$, ES = 0.10 pro obě skupiny). Ani v rámci rozdělení bez-tukové hmoty na horní a dolní část těla nebyly pozorovány statisticky významné rozdíly mezi skupinami ($p = 0.501$ pro horní polovinu těla, $p = 0.999$ pro dolní polovinu těla). Tyto výsledky naznačují, že OT a CT u rekreačně aktivních mladých mužů mohou mít obdobný pozitivní vliv na nárůst bez-tukové hmoty.

Tyto výsledky jsou v souladu s většinou evidence, která naznačuje, že z hlediska budování svalové hmoty může být CT vhodným nástrojem. Recentní meta-analýzy týkající se vlivu CT na svalovou hmotu porovnání s OT potvrzují tato zjištění. Noh et al., (2024) v rámci analýzy studií sledovali téměř identickou velikost efektu v rámci zvýšení bez-tukové hmoty u skupin CT a OT (ES 0.22 a 0.21). Další meta-analýza se zaměřila na srovnání vlivu OT a CT v rámci hypertrofie na úrovní celého svalu, ale také na vliv na vlákna různého typu (I, II). V rámci porovnání CT a OT na svalovou hypertrofii na úrovni „celého svalu“ nebyl mezi skupinami rozdíl (Monserdà-Vilaró et al., 2023). Ovšem při srovnání na úrovní typů svalových vláken výsledky naznačily určité rozdíly. Při srovnání vlivu OT a CT (kdy byl VT prováděn formou HIIT, případně kombinací HIIT a kontinuálního vytrvalostního tréninku) byla negativně ovlivněna hypertrofie jak svalových vláken I, tak II typu (Monserdà-Vilaró et al., 2023). Negativní vliv CT se neprojevil, pokud byl vytrvalostní trénink formou kontinuálního běhu.

Výsledky našeho výzkumu jsou částečně v souladu s touto meta-analýzou, jelikož v rámci CT protokolu jsme použili kontinuální formu tréninku (avšak nikoliv běh, ale stacionární kolo). Je však potřeba vzít

v potaz, že autoři meta-analýzy v rámci inkluzivních kritérií zmínili, že pro měření složení těla musela být použita jedna z těchto metod – ultrazvuk, výpočetní tomografie, magnetická rezonance), tyto metody by měly být v rámci pozorování změn tělesného složení nejpřesnější, jako zlatý standard je uváděna magnetická rezonance (Müller et al., 2016). Nevýhodou těchto metod je, že obecně nejsou tak dostupné, jako např. DXA sken, který jsme použili my.

Autoři Bouamra et al. (2022) také použili v rámci své studie metodu DXA. Zaměřili se na obézní adolescenty (12–14 let) a zjišťovali vliv 9týdenní intervence v rámci různých typů tréninků (OT, HIIT, CT – kombinace předchozího) na parametry tělesné kompozice a fyzické zdatnosti. Co je zajímavé, tak pouze u skupiny OT nedošlo k významnému zvýšení bez-tukové hmoty, skupin HIIT a CT byl nárůst bez-tukové hmoty významný ($p < 0.05$), v rámci úbytku tukové hmoty došlo k významné změně oproti výchozímu stavu u všech skupin, avšak v rámci porovnání těchto změn byl významný rozdíl ve prospěch skupiny CT. Autoři vyvodili, že u obézních adolescentů je CT ideální volba pro změnu tělesné kompozice (Bouamra et al., 2022). Tyto výsledky je však potřeba brát s rezervou a počítat s tím, že se autoři zaměřili na obézní jedince.

Fyfe a et al. (2016) ve své studii porovnávali vliv RT a dvou protokolů CT (s použitím HIIT tréninku – CTH, nebo kontinuálního vytrvalostního o střední intenzitě – CTM). V rámci změn bez-tukové hmoty (měření pomocí DXA) autoři pozorovali útlum v rámci nárůstu bez-tukové hmoty dolních končetin u skupiny CTH, v porovnání se skupinou OT. Mezi skupinami OT a CTM nebyl významný rozdíl (Fyfe et al., 2016). Tyto výsledky jsou částečně v souladu s našim zjištěním, kdy u skupiny CT (podstupující kontinuální vytrvalostní trénink) nedošlo k narušení rozvoje bez-tukové hmoty dolních končetin. Útlum nárůstu bez-tukové hmoty, ve studii Fyfe et al. (2016) je v rozporu s recentní meta-analýzou (Chen et al., 2024). V té autoři při použiti bayesovského přístupu porovnávali různé intervence a dospěli k závěru, že právě protokol CT, kdy je v rámci vytrvalostního tréninku použit HIIT může mít větší vliv na svalovou hypertrofii než samotný OT. V této analýza vyšel v rámci porovnání s OT lépe i CT protokol s použitím kontinuálního vytrvalostního tréninku o střední intenzitě (Chen et al., 2024).

„Power“

Jako ukazatel *power* jsme zvolili klasický (30vteřinový) formát Wingate testu. V rámci výsledku nebyly pozorovány statisticky významné rozdíly mezi skupinami v žádném ze sledovaných parametrů. Z hlediska velikost efektu změn mezi jednotlivými měřeními však lze u některých parametrů ve vybraných časových bodech pozorovat odlišné trendy. Například u ukazatele relativního „peak power“ (W/kg) (Tabulka 11) byla velikost efektu u skupiny CT při srovnání časových bodů před intervencí a po intervenci 0.60, což značí střední velikost efektu. U Skupiny OT byla velikost efektu při srovnání před intervencí a po intervencí 0.46, což naznačuje malou velikost efektu. Tyto rozdíly jsou v rozporu s očekáváním, jelikož jsme očekávali narušení rozvoje těchto ukazatelů u skupiny CT v porovnání se skupinou OT. Můžeme však pozorovat, odlišný trend ve vývoji tohoto ukazatele, jelikož po 4 týdnech intervence byla velikost efektu u skupiny CT 0.61 (střední efekt) a u skupiny OT 0.22 (malý efekt). U Skupiny CT poté došlo ke snížení mezi časovými body v průběhu intervence a po intervenci (ES -0,04) u skupiny OT naopak došlo k dalšímu zvýšení výkonu (ES 0.26), přestože bylo snížení u skupiny CT „zanedbatelné“, tento ukazatel naznačuje, že mohlo začít docházet k negativnímu vlivu VT na tento ukazatel, který by se mohl časem, při delší tréninkové intervenci projevit silněji.

Odlišný trend byl pozorován u parametru relativního průměrného výkonu ve Wingate testu (Tabulka 11). Zde byl u obou skupin pozorován malý efekt ve srovnání měření před intervencí a po 4 týdnech intervence (ES 0.29 pro CT a ES 0.28 pro OT) a poté došlo u obou skupin k poklesu ve srovnání po 4 týdnech intervence a na konci intervence (obě skupiny shodně ES -0.2). U skupiny CT by toto snížení mohlo dávat smysl, jelikož došlo i ke snížení maximálního výkonu mezi těmito časovými body. U skupiny OT je to z hlediska interpretace složitější, je možné, že vzhledem k dosažení vyššího maxima výkonu (W/kg), mohlo v rámci zbývajícího času testu dojít k většímu poklesu výkonu (v důsledku vyšší míry únavy), což mohlo způsobit snížení průměrného výkonu z hlediska celých 30 vteřin, avšak jedná se pouze o spekulaci.

Ve studii autorů Fyfe a kol., (2016) došlo po 8týdenní intervenci k negativnímu vlivu CT na rozvoj *power* ukazatele (u obou skupin – CTH, CTM). Zatímco se skupina OT zlepšila v parametrech vertikálního výskoku s protipohybem, ani u jedné ze skupin CT ke zlepšení nedošlo (Fyfe et al., 2016). To bylo částečně v rozporu s hypotézou autorů, kteří

původně očekávali, že u skupiny provádějící vysoce intenzivní trénink vytrvalosti (CTH) bude negativní efekt výraznější. Vzhledem k tomu, že v rámci CT skupin probandi vykonali stejný objem práce, a časově byly tréninky rovněž sjednoceny, autoři vyvodili, že spíše než intenzita VT je z hlediska výskytu interferenčního efektu důležitější celkový objem VT (Fyfe et al., 2016). Výsledky zmíněné studie, z hlediska vlivu CT na *power* jsou v rozporu s naším zjištěním. V rámci naší studie nebyly statisticky významné změny z hlediska rozvoje ukazatelů anaerobního výkonu ve Wingate testu. Tento rozdíl může být způsoben i tím, že byly použity jiné metody analýzy anaerobního výkonu (přímý ukazatel explozivní síly – vertikální výskok s protipohybem vs. 30vteřinový Wingate test). Vypadá to, že neurální aktivace (měřena vertikálním výskokem) by mohla být nejnáchylnější k výskytu interferenčního efektu (Schumann et al., 2022). Laird a et al. (2016) ve své studii týkající se CT také použili Wingate test. Rozdíl oproti našemu protokolu byl ten, že použili modifikovaný Wingate test (10sekundový) a za použití tří různých stupňů odporu (7.5, 8.5, a 9.5 % tělesné hmotnosti) u rekreačně aktivních žen. V rámci výsledků však autoři neshledali žádné rozdíly mezi skupinami (při analýze všech tří protokolů), obě skupiny (CT i OT) zlepšily výkon do stejné míry (Laird et al., 2016).

Obdobně, ani další studie, která použila Wingate test (30vteřinový) nezjistila po absolvování tréninkové intervence významné rozdíly mezi skupinami OT a CT v rámci sledovaných parametrů (průměrný výkon a maximální výkon), ačkoliv velikost efektu u maximálního výkonu byla u OT 0.9 a u CT 0.3, což naznačuje určité rozdíly z hlediska adaptace (Leveritt et al., 2003). Obdobně G.S Cantrell et al. (2014) nezjistili po 12 týdnech tréninkové intervence rozdíly v nárůstu výkonnosti ve Wingate testu mezi skupinami OT a CT (Cantrell et al., 2014). Zajímavý byl v tomto případě trend u maximálního výkonu ve Wingate testu, kdy obě skupiny zlepšily výkon v období před začátkem a uprostřed intervence, avšak při porovnání výkonů v období uprostřed intervence a na konci, bylo u obou skupin pozorováno snížení, které však nebylo statisticky významné (Cantrell et al., 2014). Limitujícím faktorem v rámci statistické analýzy zde byla velikost vzorku (14 osob celkem).

Je možné, že klasický Wingate test není optimální volbou pro analýzu čistě anaerobních schopností, což může způsobit nemožnost detekce interferenčního efektu v rámci *power* (jak je často zjištěno např. pomocí vertikálního výskoku). Některé zdroje uvádí, že v rámci klasického Wingate protokolu může být krytí energie až do 44 % pokryto

aerobním systémem (Stevens et al., 1986). Z toho důvodu Laird a et al. (2016) použili modifikovaný 10vteřinový Wingate, avšak ani v tom případě se rozdíl mezi skupinami OT a CT neprojevil. Interferenční efekt se projevil v další studii, kde autoři použili ke zjištění anaerobního výkonu vertikální výskok s protipohybem. Autoři rozdělili 23 rekreačně aktivních mužů do tří skupin (OT, CTH, CTM), ti poté podstoupili 8týdenní tréninkovou intervenci. Autoři zjistili útlum v rámci zlepšení u vertikálního výskoku s protipohybem u obou skupin CT v obou časových bodech (po 4 týdnech i po 8 týdnech intervence). Útlum adaptace byl více evidentní v porovnání „pre-post" nežli „pre-mid",což naznačuje zvýšení rizika interference po delší době provádění CT (Pattison et al., 2020). Autoři se na základě těchto výsledků a porovnání s literaturou zamýšlí nad vhodnými měřícími nástroji pro „měření" výskytu interferenčního efektu a udávají, že právě vertikální výskok s protipohybem by měl být vhodným nástrojem pro posouzení intervence v rámci CT (Pattison et al., 2020).

Shrnutí vlivu CT na adaptaci na OT

Obecně můžeme říci, že CT neměl negativní vliv na sledované adaptační projevy, a přestože statistická významnost neprokázala rozdíly mezi skupinami, analýza velikosti efektu na rozdíly poukázala. U skupiny CT byl u některých parametrů sledován větší (pozitivní) efekt intervence ve srovnání pre-post (bench-press, dřep, Wingate peak power). V rámci žádného ze sledovaných parametrů nebyla pozorována větší velikost efektu u skupiny OT.

Je možné říci, že u rekreačně aktivních mužů se CT jeví jako dobrá volba pro zvýšení silových adaptací, a za určitých podmínek zřejmě může mít výraznější pozitivní efekt nežli samotný OT.

Metodologické faktory

Absence interferenčního efektu může být způsobena například proměnnými, které se týkají tréninkové intervence. Jako předlohu pro tréninkovou intervenci sloužila metodika ze studie Fyfe et al., (2016), ovšem byli jsme nucení provést několik změn, které byly zapříčiněny podmínkami z hlediska materiálního a laboratorního vybavení. 8týdenní intervence s frekvencí tréninků 3x týdně (a poměrem 1 OT: 1 VT) možná nebyla pro probandy natolik vysilující, aby došlo k negativnímu vlivu na adaptaci u skupiny CT. Svou roli možná sehrál i tréninkový status, kdy naši probandi byli klasifikováni jako „rekreačně aktivní". Mohl se u nich vyskytnout

„crossover“ efekt, kdy v počáteční fázi intervence VT skrze nespecifické signály působil společně s OT synergicky. Dalším rozdíl byl ve statistickém zpracování výsledků. Z hlediska statistické významnosti nebyly shledány žádné rozdíly mezi skupinami, věcná významnost, vyjádřena pomocí Cohenova d na určité rozdíly poukázala. Forma statistického zpracování dat je jednou z možných metodologických proměnných, které mají vliv na interpretaci výsledků v rámci výzkumu v oblasti CT (Bishop et al., 2019).

6.1 Limitující faktory výzkumu

Tento výzkum má několik limitujících faktorů. Jako jeden z hlavních limitujících faktorů spatřuji dobu, ve které výzkum probíhal (přelom 2021/2022). Jedná se o období pandemie Covid-19. Toto období bylo provázeno různými opatřeními vlády, které se týkaly volného pohybu osob a také například navštěvování fitness center či dalších zařízení. Z toho důvodu byl výzkum rozdělen na dvě části, jelikož jsme vzhledem k měnící se situaci nemohli čekat na dokončení náboru všech participantů, aby nedošlo k případnému zrušení začátku intervence z důvodu nových pandemických opatření. S prvním bodem je spojen další limitující faktor, kterým je velikost výzkumného vzorku (celkem n=20, dokončilo n=15). Obecně je velikost vzorku v rámci kinantropologického výzkumu značným problémem, který ovlivňuje především sílu statistické analýzy a promítá se do konečné formulace závěrů. Při nedostatečné velikosti vzorku mohou být i ekologicky validní změny (spojené s rozdíly mezi skupinami a praktickým dopadem na výkon) vyhodnoceny jako statisticky nevýznamné. Dalším limitujícím faktorem je absence nutriční kontroly. Je dobře známo, že výživa hraje důležitou roli v procesu tréninkové adaptace. Je možné, že někteří z probandů neměli dostatečný energetický příjem, případně nekonzumovali adekvátní množství bílkovin. Tyto faktory mohly následně negativně ovlivnit adaptační procesy a promítnout se do výsledku v rámci srovnání mezi skupinami.

7 Závěry

Práce se zabývala tématem souběžného silového a vytrvalostního tréninku (CT) u populace rekreačně aktivních mužů. CT může být obecně velmi efektivním nástrojem pro zlepšení výkonu sportovců v mnoha odvětvích, stejně tak je velmi efektivním způsobem, jak u běžné populace maximalizovat zdravotní benefity spojené s odlišnými modalita (síla, vytrvalost).

V rámci této práce jsme se snažili objasnit, jakým způsobem bude ovlivněna adaptace na trénink u skupiny podstupující CT v porovnání se skupinou podstupující samotný odporový trénink.

U obou skupin jsme po ukočení intervence zaznamenali významný nárůst maximální síly v bench-pressu i dřepu ($p < 0.05$ pro bench-press i dřep), avšak bez statisticky významných rozdílů mezi skupinami ($p > 0.05$ pro bench-press i dřep).

V rámci ukazatelů *power* ve Wingate testu jsme ve většině sledovaných parametrů rovněž zaznamenali u obou skupin statisticky významný nárůst výkonu v čase, pouze u některých parametrů nebylo v rámci skupin dosaženo statisticky významných změn (relativní peak power u CT i OT $p > 0.05$; relativní mean power u skupiny OT $p > 0.05$), avšak rozdíly mezi skupinami nebyly statisticky významné (u všech sledovaných parametrů $p > 0.05$).

Z hlediska změny tělesného složení došlo u obou skupin k významnému zvýšení bez-tukové hmoty ($p > 0.05$ u obou skupin), bez statisticky významného rozdílu mezi skupinami ($p = 0.675$). u žádné ze skupiny nedošlo k statisticky významným změnám z hlediska hlavního ukazatele aerobní zdatnosti VO_{2max}.

Vzhledem k velikosti výzkumného vzorku byla provedena analýza velikosti efektu u jednotlivých proměnných. V rámci změny (absolutního i relativního) průměrného výkonu ve Wingate testu (Wingate peak power) byly pozorovány rozdíly mezi skupinami (absolutní peak power CT ES 0.6 -střední efekt, OT ES 0.42 malý efekt; relativní peak power CT ES 0.6 střední efekt, OT ES 0.46 malý efekt). Největší rozdíl z hlediska velikosti efektu mezi měřeními pre a post byl mezi skupinami pozorován u testování 1 RM ve dřepu, kdy velikost efektu byla u skupiny CT 1.62 (velký) a u skupiny OT 0.62 (střední).

Tyto výsledky naznačují, že CT je u rekreačně aktivní vhodnou volbou, pokud je cílem rozvoj silových adaptací, a z hlediska posouzení

velikosti efektu jednotlivých adaptací to vypadá, že může z hlediska adaptační odpovědi podpořit rozvoj některých adaptačních ukazatelů do větší míry nežli samotný OT.

Použité zdroje

Ansdell, P., Thomas, K., Hicks, K. M., Hunter, S. K., Howatson, G., & Goodall, S. (2020). Physiological sex differences affect the integrative response to exercise: Acute and chronic implications. *Experimental Physiology*, *105*(12), 2007–2021. https://doi.org/10.1113/EP088548

Baar, K. (2014). Using Molecular Biology to Maximize Concurrent Training. *Sports Medicine*, *44*(2), 117–125. https://doi.org/10.1007/s40279-014-0252-0

Bagheri, R., Karimi, Z., Camera, D. M., Scott, D., Bashirzad, M. Z., Sadeghi, R., Kargarfard, M., & Dutheil, F. (2024). Association between changes in lean mass, muscle strength, endurance, and power following resistance or concurrent training with differing high protein diets in resistance-trained young males. *Frontiers in Nutrition*, *11*, 1439037. https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1439037

Baker, D. (2001). The effects of an in-season of concurrent training on the maintenance of maximal strength and power in professional and college-aged rugby league football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *15*(2), 172–177.

Balabinis, C. P., Psarakis, C. H., Moukas, M., Vassiliou, M. P., & Behrakis, P. K. (2003). Early phase changes by concurrent endurance and strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *17*(2), 393–401. https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0393:epcbce>2.0.co;2

Bar-Or, O. (1987). The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *4*(6), 381–394. https://doi.org/10.2165/00007256-198704060-00001

Bassett, D., & Howley, E. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *32*(1), 70. https://journals.lww.com/acsm-msse/fulltext/2000/01000/limiting_factors_for_maximum_oxygen_uptake_and.12.aspx

Beck, K. L., Thomson, J. S., Swift, R. J., & von Hurst, P. R. (2015). Role of nutrition in performance enhancement and postexercise recovery.

Open Access Journal of Sports Medicine, *6*, 259–267. https://doi.org/10.2147/OAJSM.S33605

Bell, G. J., Syrotuik, D., Martin, T. P., Burnham, R., & Quinney, H. A. (2000). Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *European Journal of Applied Physiology*, *81*(5), 418–427. https://doi.org/10.1007/s004210050063

Bell, G., Syrotuik, D., Socha, T., Maclean, I., & Quinney, H. A. (1997). Effect of Strength Training and Concurrent Strength and Endurance Training on Strength, Testosterone, and Cortisol. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *11*(1), 57. https://journals.lww.com/nsca-jscr/abstract/1997/02000/effect_of_strength_training_and_concurrent.12.aspx

Bentley, D. J., Smith, P. A., Davie, A. J., & Zhou, S. (2000). Muscle activation of the knee extensors following high intensity endurance exercise in cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, *81*(4), 297–302. https://doi.org/10.1007/s004210050046

Benziane, B., Burton, T. J., Scanlan, B., Galuska, D., Canny, B. J., Chibalin, A. V., Zierath, J. R., & Stepto, N. K. (2008). Divergent cell signaling after short-term intensified endurance training in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, *295*(6), E1427–E1438. https://doi.org/10.1152/ajpendo.90428.2008

Berryman, N., Mujika, I., Arvisais, D., Roubeix, M., Binet, C., & Bosquet, L. (2018). *Strength Training for Middle- and Long-Distance Performance: A Meta-Analysis*. https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0032

Berryman, N., Mujika, I., & Bosquet, L. (2019). Concurrent Training for Sports Performance: The 2 Sides of the Medal. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *14*(3), 279–285. https://doi.org/10.1123/ijspp.2018-0103

Bishop, D. J., Bartlett, J., Fyfe, J., & Lee, M. (2019). Methodological Considerations for Concurrent Training. In M. Schumann & B. R. Rønnestad (Ed.), *Concurrent Aerobic and Strength Training: Scientific Basics and Practical Applications* (s. 183–196). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75547-2_13

Bodine, S. C. (2022). The role of mTORC1 in the regulation of skeletal muscle mass. *Faculty Reviews*, *11*, 32. https://doi.org/10.12703/r/11-32

Bonafiglia, J. T., Swinton, P. A., Ross, R., Johannsen, N. M., Martin, C. K., Church, T. S., Slentz, C. A., Ross, L. M., Kraus, W. E., Walsh, J. J., Kenny, G. P., Goldfield, G. S., Prud'homme, D., Sigal, R. J., Earnest, C. P., & Gurd, B. J. (2022). Interindividual Differences in Trainability and Moderators of Cardiorespiratory Fitness, Waist Circumference, and Body Mass Responses: A Large-Scale Individual Participant Data Meta-analysis. *Sports Medicine*, *52*(12), 2837–2851. https://doi.org/10.1007/s40279-022-01725-9

Booth, F. W., Ruegsegger, G. N., Toedebusch, R. G., & Yan, Z. (2015). Chapter Six—Endurance Exercise and the Regulation of Skeletal Muscle Metabolism. In C. Bouchard (Ed.), *Progress in Molecular Biology and Translational Science* (Roč. 135, s. 129–151). Academic Press. https://doi.org/10.1016/bs.pmbts.2015.07.016

Bouamra, M., Zouhal, H., Ratel, S., Makhlouf, I., Bezrati, I., Chtara, M., Behm, D. G., Granacher, U., & Chaouachi, A. (2022). Concurrent Training Promotes Greater Gains on Body Composition and Components of Physical Fitness Than Single-Mode Training (Endurance or Resistance) in Youth With Obesity. *Frontiers in Physiology*, *13*. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.869063

Bouchard, C., Blair, S. N., Church, T. S., Earnest, C. P., Hagberg, J. M., Häkkinen, K., Jenkins, N. T., Karavirta, L., Kraus, W. E., Leon, A. S., Rao, D. C., Sarzynski, M. A., Skinner, J. S., Slentz, C. A., & Rankinen, T. (2012). Adverse Metabolic Response to Regular Exercise: Is It a Rare or Common Occurrence? *PLOS ONE*, *7*(5), e37887. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037887

Bouchard, C., Rankinen, T., & Timmons, J. A. (2011). Genomics and Genetics in the Biology of Adaptation to Exercise. In *Comprehensive Physiology* (s. 1603–1648). John Wiley & Sons, Ltd. https://doi.org/10.1002/cphy.c100059

Brown, L., & Weir, J. (2001). ASEP Procedures recommendation I: Accurate assessment of muscular strength and power. *Journal of Exercise Physiology Online*, *4*, 1–21.

Buckner, S. L., Mouser, J. G., Jessee, M. B., Dankel, S. J., Mattocks, K. T., & Loenneke, J. P. (2017). What does individual strength say about resistance training status? *Muscle & Nerve*, *55*(4), 455–457. https://doi.org/10.1002/mus.25461

Burke, L. M., Hawley, J. A., Wong, S. H. S., & Jeukendrup, A. E. (2013). Carbohydrates for training and competition. In *Food, Nutrition and Sports Performance III*. Routledge.

Cadore, E. L., Izquierdo, M., Alberton, C. L., Pinto, R. S., Conceição, M., Cunha, G., Radaelli, R., Bottaro, M., Trindade, G. T., & Kruel, L. F. M. (2012). Strength prior to endurance intra-session exercise sequence optimizes neuromuscular and cardiovascular gains in elderly men. *Experimental Gerontology*, *47*(2), 164–169. https://doi.org/10.1016/j.exger.2011.11.013

Camera, D. M. (2022). Evaluating the Effects of Increased Protein Intake on Muscle Strength, Hypertrophy and Power Adaptations with Concurrent Training: A Narrative Review. *Sports Medicine*, *52*(3), 441–461. https://doi.org/10.1007/s40279-021-01585-9

Camera, D. M., Hawley, J. A., & Coffey, V. G. (2015). Resistance exercise with low glycogen increases p53 phosphorylation and PGC-1α mRNA in skeletal muscle. *European Journal of Applied Physiology*, *115*(6), 1185–1194. https://doi.org/10.1007/s00421-015-3116-x

Camera, D. M., West, D. W. D., Burd, N. A., Phillips, S. M., Garnham, A. P., Hawley, J. A., & Coffey, V. G. (2012). Low muscle glycogen concentration does not suppress the anabolic response to resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, *113*(2), 206–214. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00395.2012

Campbell, B. (Ed.). (2020). *NSCA's Guide to Sport and Exercise Nutrition* (Second edition). Human Kinetics.

Cantrell, G. S., Schilling, B. K., Paquette, M. R., & Murlasits, Z. (2014). Maximal strength, power, and aerobic endurance adaptations to concurrent strength and sprint interval training. *European Journal of Applied Physiology*, *114*(4), 763–771. https://doi.org/10.1007/s00421-013-2811-8

Caputo, F., & Denadai, B. S. (2004). Effects of aerobic endurance training status and specificity on oxygen uptake kinetics during maximal

exercise. *European Journal of Applied Physiology*, *93*(1–2), 87–95. https://doi.org/10.1007/s00421-004-1169-3

Carpinelli, R. N. (2017). Interindividual heterogeneity of adaptations to resistance training. *Medicina Sportiva Practica*, *18*(4), 79–94. https://www.researchgate.net/profile/Ralph-Carpinelli/publication/323443805_INTERINDIVIDUAL_HETEROGENEITY_OF_ADAPTATIONS_TO_RESISTANCE_TRAINING/links/5a961aecaca272140569525e/INTERINDIVIDUAL-HETEROGENEITY-OF-ADAPTATIONS-TO-RESISTANCE-TRAINING.pdf

Cermak, N. M., & van Loon, L. J. C. (2013). The Use of Carbohydrates During Exercise as an Ergogenic Aid. *Sports Medicine*, *43*(11), 1139–1155. https://doi.org/10.1007/s40279-013-0079-0

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

Coffey, V. G., & Hawley, J. A. (2017). Concurrent exercise training: Do opposites distract? *The Journal of Physiology*, *595*(9), 2883–2896. https://doi.org/10.1113/JP272270

Coffey, V. G., Jemiolo, B., Edge, J., Garnham, A. P., Trappe, S. W., & Hawley, J. A. (2009). Effect of consecutive repeated sprint and resistance exercise bouts on acute adaptive responses in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, *297*(5), R1441-1451. https://doi.org/10.1152/ajpregu.00351.2009

Coffey, V. G., Zhong, Z., Shield, A., Canny, B. J., Chibalin, A. V., Zierath, J. R., & Hawley, J. A. (2006). Early signaling responses to divergent exercise stimuli in skeletal muscle from well-trained humans. *FASEB Journal: Official Publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology*, *20*(1), 190–192. https://doi.org/10.1096/fj.05-4809fje

Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, *112*(1), 155–159. https://doi.org/10.1037//0033-2909.112.1.155

Creer, A., Gallagher, P., Slivka, D., Jemiolo, B., Fink, W., & Trappe, S. (2005). Influence of muscle glycogen availability on ERK1/2 and Akt signaling after resistance exercise in human skeletal muscle.

Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985), *99*(3), 950–956. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00110.2005

da Silva, E. S., Kram, R., & Hoogkamer, W. (2022). The metabolic cost of emulated aerodynamic drag forces in marathon running. *Journal of Applied Physiology*, *133*(3), 766–776. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00086.2022

Del Vecchio, A., Casolo, A., Negro, F., Scorcelletti, M., Bazzucchi, I., Enoka, R., Felici, F., & Farina, D. (2019). The increase in muscle force after 4 weeks of strength training is mediated by adaptations in motor unit recruitment and rate coding. *The Journal of Physiology*, *597*(7), 1873–1887. https://doi.org/10.1113/JP277250

Denadai, B. S., de Aguiar, R. A., de Lima, L. C. R., Greco, C. C., & Caputo, F. (2017). Explosive Training and Heavy Weight Training are Effective for Improving Running Economy in Endurance Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *47*(3), 545–554. https://doi.org/10.1007/s40279-016-0604-z

Docherty, D., & Sporer, B. (2000). A Proposed Model for Examining the Interference Phenomenon between Concurrent Aerobic and Strength Training. *Sports Medicine*, *30*(6), 385–394. https://doi.org/10.2165/00007256-200030060-00001

Dolezal, B. A., & Potteiger, J. A. (1998). Concurrent resistance and endurance training influence basal metabolic rate in nondieting individuals. *Journal of Applied Physiology*, *85*(2), 695–700. https://doi.org/10.1152/jappl.1998.85.2.695

Doma, K., Deakin, G. B., & Bentley, D. J. (2017). Implications of Impaired Endurance Performance following Single Bouts of Resistance Training: An Alternate Concurrent Training Perspective. *Sports Medicine*, *47*(11), 2187–2200. https://doi.org/10.1007/s40279-017-0758-3

Doma, K., Deakin, G. B., Schumann, M., & Bentley, D. J. (2019). Training Considerations for Optimising Endurance Development: An Alternate Concurrent Training Perspective. *Sports Medicine*, *49*(5), 669–682. https://doi.org/10.1007/s40279-019-01072-2

Drews, C. M., & Wilmore, J. H. (1999). *Physiology of Sport and Exercise Study Guide* (Study Guide edition). Human Kinetics.

Eddens, L., van Someren, K., & Howatson, G. (2018). The Role of Intra-Session Exercise Sequence in the Interference Effect: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Medicine*, *48*(1), 177–188. https://doi.org/10.1007/s40279-017-0784-1

Egan, B., & Zierath, J. R. (2013). Exercise Metabolism and the Molecular Regulation of Skeletal Muscle Adaptation. *Cell Metabolism*, *17*(2), 162–184. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2012.12.012

Elgueta-Cancino, E., Evans, E., Martinez-Valdes, E., & Falla, D. (2022). The Effect of Resistance Training on Motor Unit Firing Properties: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Physiology*, *13*, 817631. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.817631

Fernandez del Olmo, M., Reimunde, P., Viana, O., Acero, R. M., & Cudeiro, J. (2006). Chronic neural adaptation induced by long-term resistance training in humans. *European Journal of Applied Physiology*, *96*(6), 722–728. https://doi.org/10.1007/s00421-006-0153-5

Folland, J. P., & Williams, A. G. (2007). Morphological and Neurological Contributions to Increased Strength. *Sports Medicine*, *37*(2), 145–168. https://doi.org/10.2165/00007256-200737020-00004

Fone, L., & van den Tillaar, R. (2022). Effect of Different Types of Strength Training on Swimming Performance in Competitive Swimmers: A Systematic Review. *Sports Medicine - Open*, *8*(1), 19. https://doi.org/10.1186/s40798-022-00410-5

Furrer, R., Hawley, J. A., & Handschin, C. (2023). The molecular athlete: Exercise physiology from mechanisms to medals. *Physiological Reviews*, *103*(3), 1693–1787. https://doi.org/10.1152/physrev.00017.2022

Fyfe, J. J., Bartlett, J. D., Hanson, E. D., Stepto, N. K., & Bishop, D. J. (2016). Endurance Training Intensity Does Not Mediate Interference to Maximal Lower-Body Strength Gain during Short-Term Concurrent Training. *Frontiers in Physiology*, *7*. https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00487

Fyfe, J. J., Bishop, D. J., Bartlett, J. D., Hanson, E. D., Anderson, M. J., Garnham, A. P., & Stepto, N. K. (2018). Enhanced skeletal muscle ribosome biogenesis, yet attenuated mTORC1 and ribosome biogenesis-related signalling, following short-term concurrent versus

single-mode resistance training. *Scientific Reports*, *8*, 560. https://doi.org/10.1038/s41598-017-18887-6

Fyfe, J. J., Bishop, D. J., & Stepto, N. K. (2014). Interference between Concurrent Resistance and Endurance Exercise: Molecular Bases and the Role of Individual Training Variables. *Sports Medicine*, *44*(6), 743–762. https://doi.org/10.1007/s40279-014-0162-1

Fyfe, J. J., & Loenneke, J. P. (2018). Interpreting Adaptation to Concurrent Compared with Single-Mode Exercise Training: Some Methodological Considerations. *Sports Medicine*, *48*(2), 289–297. https://doi.org/10.1007/s40279-017-0812-1

Gabriel, D. A., Kamen, G., & Frost, G. (2006). Neural Adaptations to Resistive Exercise. *Sports Medicine*, *36*(2), 133–149. https://doi.org/10.2165/00007256-200636020-00004

Gacesa, J. Z. P., Klasnja, A. V., & Grujic, N. G. (2013). Changes in Strength, Endurance, and Fatigue During a Resistance-Training Program for the Triceps Brachii Muscle. *Journal of Athletic Training*, *48*(6), 804–809. https://doi.org/10.4085/1062-6050-48.4.16

García-Pallarés, J., & Izquierdo, M. (2011). Strategies to optimize concurrent training of strength and aerobic fitness for rowing and canoeing. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *41*(4), 329–343. https://doi.org/10.2165/11539690-000000000-00000

Gergley, J. C. (2009). Comparison of Two Lower-Body Modes of Endurance Training on Lower-Body Strength Development While Concurrently Training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *23*(3), 979. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181a0629d

Glowacki, S. P., Martin, S. E., Maurer, A., Baek, W., Green, J. S., & Crouse, S. F. (2004). Effects of resistance, endurance, and concurrent exercise on training outcomes in men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *36*(12), 2119–2127. https://doi.org/10.1249/01.mss.0000147629.74832.52

González, A., Hall, M. N., Lin, S.-C., & Hardie, D. G. (2020). AMPK and TOR: The Yin and Yang of Cellular Nutrient Sensing and Growth Control. *Cell Metabolism*, *31*(3), 472–492. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2020.01.015

Grgic, J., Lazinica, B., Schoenfeld, B. J., & Pedisic, Z. (2020). Test–Retest Reliability of the One-Repetition Maximum (1RM) Strength Assessment: A Systematic Review. *Sports Medicine - Open*, *6*(1), 31. https://doi.org/10.1186/s40798-020-00260-z

Grgic, J., Mcllvenna, L. C., Fyfe, J. J., Sabol, F., Bishop, D. J., Schoenfeld, B. J., & Pedisic, Z. (2019). Does Aerobic Training Promote the Same Skeletal Muscle Hypertrophy as Resistance Training? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, *49*(2), 233–254. https://doi.org/10.1007/s40279-018-1008-z

Ha, J., Guan, K.-L., & Kim, J. (2015). AMPK and autophagy in glucose/glycogen metabolism. *Molecular Aspects of Medicine*, *46*, 46–62. https://doi.org/10.1016/j.mam.2015.08.002

Haff, G., & Triplett, T. (Ed.). (2015). *Essentials of Strength Training and Conditioning* (Fourth edition). Human Kinetics.

Hagstrom, A. D., Yuwono, N., Warton, K., & Ford, C. E. (2021). Sex Bias in Cohorts Included in Sports Medicine Research. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *51*(8), 1799–1804. https://doi.org/10.1007/s40279-020-01405-6

Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W. J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., Mikkola, J., Häkkinen, A., Valkeinen, H., Kaarakainen, E., Romu, S., Erola, V., Ahtiainen, J., & Paavolainen, L. (2003). Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European Journal of Applied Physiology*, *89*(1), 42–52. https://doi.org/10.1007/s00421-002-0751-9

Hamilton, D., & Philp, A. (2013). Can AMPK mediated suppression of mTORC1 explain the concurrent training effect? *Cellular and Molecular Exercise Physiology*. https://doi.org/10.7457/cmep.v2i1.e4

Harber, M. P., Konopka, A. R., Douglass, M. D., Minchev, K., Kaminsky, L. A., Trappe, T. A., & Trappe, S. (2009). Aerobic exercise training improves whole muscle and single myofiber size and function in older women. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, *297*(5), R1452-1459. https://doi.org/10.1152/ajpregu.00354.2009

Harber, M. P., Konopka, A. R., Undem, M. K., Hinkley, J. M., Minchev, K., Kaminsky, L. A., Trappe, T. A., & Trappe, S. (2012). Aerobic exercise

training induces skeletal muscle hypertrophy and age-dependent adaptations in myofiber function in young and older men. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, *113*(9), 1495–1504. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00786.2012

Haun, C. T., Vann, C. G., Roberts, B. M., Vigotsky, A. D., Schoenfeld, B. J., & Roberts, M. D. (2019). A Critical Evaluation of the Biological Construct Skeletal Muscle Hypertrophy: Size Matters but So Does the Measurement. *Frontiers in Physiology*, *10*. https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00247

Hawley, J. A. (2002). Adaptations Of Skeletal Muscle To Prolonged, Intense Endurance Training. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, *29*(3), 218–222. https://doi.org/10.1046/j.1440-1681.2002.03623.x

Hawley, J. A. (2009). Molecular responses to strength and endurance training: Are they incompatible?This paper article is one of a selection of papers published in this Special Issue, entitled 14th International Biochemistry of Exercise Conference – Muscles as Molecular and Metabolic Machines, and has undergone the Journal's usual peer review process. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *34*(3), 355–361. https://doi.org/10.1139/H09-023

Hawley, J. A., Hargreaves, M., Joyner, M. J., & Zierath, J. R. (2014). Integrative Biology of Exercise. *Cell*, *159*(4), 738–749. https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.10.029

Hearris, M. A., Hammond, K. M., Fell, J. M., & Morton, J. P. (2018). Regulation of Muscle Glycogen Metabolism during Exercise: Implications for Endurance Performance and Training Adaptations. *Nutrients*, *10*(3), Article 3. https://doi.org/10.3390/nu10030298

Hennessy, L. C., & Watson, A. W. S. (1994). The Interference Effects of Training for Strength and Endurance Simultaneously. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *8*(1), 12. https://journals.lww.com/nsca-jscr/abstract/1994/02000/the_interference_effects_of_training_for_strength.3.aspx

Henselmans, M., Bjørnsen, T., Hedderman, R., & Vårvik, F. T. (2022). The Effect of Carbohydrate Intake on Strength and Resistance Training Performance: A Systematic Review. *Nutrients*, *14*(4), Article 4. https://doi.org/10.3390/nu14040856

Hickson, R. C. (1980). Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *45*(2–3), 255–263. https://doi.org/10.1007/bf00421333

Hubal, M. J., Gordish-Dressman, H., Thompson, P. D., Price, T. B., Hoffman, E. P., Angelopoulos, T. J., Gordon, P. M., Moyna, N. M., Pescatello, L. S., Visich, P. S., Zoeller, R. F., Seip, R. L., & Clarkson, P. M. (2005). Variability in muscle size and strength gain after unilateral resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *37*(6), 964–972.

Hughes, D. C., Ellefsen, S., & Baar, K. (2018). Adaptations to Endurance and Strength Training. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, *8*(6), a029769. https://doi.org/10.1101/cshperspect.a029769

Huiberts, R. O., Wüst, R. C. I., & van der Zwaard, S. (2024). Concurrent Strength and Endurance Training: A Systematic Review and Meta-Analysis on the Impact of Sex and Training Status. *Sports Medicine*, *54*(2), 485–503. https://doi.org/10.1007/s40279-023-01943-9

Hunter, S. K., S. Angadi, S., Bhargava, A., Harper, J., Hirschberg, A. L., D. Levine, B., L. Moreau, K., J. Nokoff, N., Stachenfeld, N. S., & Bermon, S. (2023). The Biological Basis of Sex Differences in Athletic Performance: Consensus Statement for the American College of Sports Medicine. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *55*(12), 2328. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003300

Hyldahl, R. D., Chen, T. C., & Nosaka, K. (2017). Mechanisms and Mediators of the Skeletal Muscle Repeated Bout Effect. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *45*(1), 24–33. https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000095

Chapman, S., Chung, H. C., Rawcliffe, A. J., Izard, R., Smith, L., & Roberts, J. D. (2021). Does Protein Supplementation Support Adaptations to Arduous Concurrent Exercise Training? A Systematic Review and Meta-Analysis with Military Based Applications. *Nutrients*, *13*(5), Article 5. https://doi.org/10.3390/nu13051416

Chen, Y., Feng, X., Huang, L., Wang, K., & Mi, J. (2024). Comparative efficacy of concurrent training types on lower limb strength and muscular hypertrophy: A systematic review and network meta-

analysis. *Journal of Exercise Science & Fitness*, *22*(1), 86–96. https://doi.org/10.1016/j.jesf.2023.12.005

Chtara, M., Chaouachi, A., Levin, G. T., Chaouachi, M., Chamari, K., Amri, M., & Laursen, P. B. (2008). Effect of concurrent endurance and circuit resistance training sequence on muscular strength and power development. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *22*(4), 1037–1045. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816a4419

Jenkins, N. D. M., Miramonti, A. A., Hill, E. C., Smith, C. M., Cochrane-Snyman, K. C., Housh, T. J., & Cramer, J. T. (2017). Greater Neural Adaptations following High- vs. Low-Load Resistance Training. *Frontiers in Physiology*, *8*. https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00331

Jones, T. W., Howatson, G., Russell, M., & French, D. N. (2013). Performance and neuromuscular adaptations following differing ratios of concurrent strength and endurance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *27*(12), 3342–3351. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b2cf39

Jones, T. W., Howatson, G., Russell, M., & French, D. N. (2016). Performance and Endocrine Responses to Differing Ratios of Concurrent Strength and Endurance Training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *30*(3), 693. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001135

Kang, J., Ye, Z., Yin, X., Zhou, C., & Gong, B. (2022). Effects of Concurrent Strength and HIIT-Based Endurance Training on Physical Fitness in Trained Team Sports Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(22), Article 22. https://doi.org/10.3390/ijerph192214800

Karlsen, T., Aamot, I.-L., Haykowsky, M., & Rognmo, Ø. (2017). High Intensity Interval Training for Maximizing Health Outcomes. *Progress in Cardiovascular Diseases*, *60*(1), 67–77. https://doi.org/10.1016/j.pcad.2017.03.006

Kazior, Z., Willis, S. J., Moberg, M., Apró, W., Calbet, J. A. L., Holmberg, H.-C., & Blomstrand, E. (2016). Endurance Exercise Enhances the Effect of Strength Training on Muscle Fiber Size and Protein Expression of Akt and mTOR. *PloS One*, *11*(2), e0149082. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149082

Kelley, G. (1996). Mechanical overload and skeletal muscle fiber hyperplasia: A meta-analysis. *Journal of Applied Physiology*, *81*(4), 1584–1588. https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.4.1584

Kikuchi, N., Yoshida, S., Okuyama, M., & Nakazato, K. (2016). The Effect of High-Intensity Interval Cycling Sprints Subsequent to Arm-Curl Exercise on Upper-Body Muscle Strength and Hypertrophy. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *30*(8), 2318. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001315

Kirby, T. J., McCarthy, J. J., Peterson, C. A., & Fry, C. S. (2016). Synergist Ablation as a Rodent Model to Study Satellite Cell Dynamics in Adult Skeletal Muscle. In M. Kyba (Ed.), *Skeletal Muscle Regeneration in the Mouse: Methods and Protocols* (s. 43–52). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3810-0_4

Klemp, A., Dolan, C., Quiles, J. M., Blanco, R., Zoeller, R. F., Graves, B. S., & Zourdos, M. C. (2016). Volume-equated high- and low-repetition daily undulating programming strategies produce similar hypertrophy and strength adaptations. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition Et Metabolisme*, *41*(7), 699–705. https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0707

Kominami, K., Imahashi, K., Katsuragawa, T., Murakami, M., & Akino, M. (2022). The Ratio of Oxygen Uptake From Ventilatory Anaerobic Threshold to Respiratory Compensation Point Is Maintained During Incremental Exercise in Older Adults. *Frontiers in Physiology*, *13*, 769387. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.769387

Konopka, A. R., & Harber, M. P. (2014). Skeletal Muscle Hypertrophy After Aerobic Exercise Training. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *42*(2), 53. https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000007

Krieger, J. W. (2010). Single vs. multiple sets of resistance exercise for muscle hypertrophy: A meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*(4), 1150–1159. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d4d436

Laird, R. H. I., Elmer, D. J., Barberio, M. D., Salom, L. P., Lee, K. A., & Pascoe, D. D. (2016). Evaluation of Performance Improvements After Either Resistance Training or Sprint Interval–Based Concurrent Training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *30*(11), 3057–3065. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001412

Landen, S., Hiam, D., Voisin, S., Jacques, M., Lamon, S., & Eynon, N. (2023). Physiological and molecular sex differences in human skeletal muscle in response to exercise training. *The Journal of Physiology*, *601*(3), 419–434. https://doi.org/10.1113/JP279499

Lattier, G., Millet, G. Y., Martin, A., & Martin, V. (2004). Fatigue and recovery after high-intensity exercise. Part II: Recovery interventions. *International Journal of Sports Medicine*, *25*(7), 509–515. https://doi.org/10.1055/s-2004-820946

Lee, A., Craig, B. W., Lucas, J., Pohlman, R., & Stelling, H. (1990). The Effect of Endurance Training, Weight Training and a Combination of Endurance and Weight Training upon the Blood Lipid Profile of Young Male Subjects. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, *4*(3), 68. https://doi.org/10.1519/1533-4287(1990)004<0068:TEOETW>2.3.CO;2

Lee, M. J.-C., Ballantyne, J. K., Chagolla, J., Hopkins, W. G., Fyfe, J. J., Phillips, S. M., Bishop, D. J., & Bartlett, J. D. (2020). Order of same-day concurrent training influences some indices of power development, but not strength, lean mass, or aerobic fitness in healthy, moderately-active men after 9 weeks of training. *PLOS ONE*, *15*(5), e0233134. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233134

Leveritt, M., Abernethy, P. J., Barry, B. K., & Logan, P. A. (1999). Concurrent Strength and Endurance Training. *Sports Medicine*, *28*(6), 413–427. https://doi.org/10.2165/00007256-199928060-00004

Leveritt, M., Abernethy, P. J., Barry, B., & Logan, P. A. (2003). Concurrent Strength and Endurance Training: The Influence of Dependent Variable Selection. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *17*(3), 503. https://journals.lww.com/nsca-jscr/abstract/2003/08000/Concurrent_Strength_and_Endurance_Training__The.13.aspx

Levitt, D. E., Luk, H.-Y., & Vingren, J. L. (2023). Alcohol, Resistance Exercise, and mTOR Pathway Signaling: An Evidence-Based Narrative Review. *Biomolecules*, *13*(1), Article 1. https://doi.org/10.3390/biom13010002

Li, Y., Li, Y., Hao, Y., & Zou, J. (2021). Do the Endurance or the Resistance Exercise Firstly? : —A Meta-analysis on the Sequence Effect of the Intra-session Concurrent Training. *2021 International Conference on*

Health Big Data and Smart Sports (HBDSS), 189–195. https://doi.org/10.1109/HBDSS54392.2021.00044

Libardi, C. A., De Souza, G. V., Cavaglieri, C. R., Madruga, V. A., & Chacon-Mikahil, M. P. T. (2012). Effect of resistance, endurance, and concurrent training on TNF-α, IL-6, and CRP. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *44*(1), 50–56. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318229d2e9

Liu, Z., & Barrett, E. J. (2002). Human protein metabolism: Its measurement and regulation. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, *283*(6), E1105–E1112. https://doi.org/10.1152/ajpendo.00337.2002

Llanos-Lagos, C., Ramirez-Campillo, R., Moran, J., & Sáez de Villarreal, E. (2024). The Effect of Strength Training Methods on Middle-Distance and Long-Distance Runners' Athletic Performance: A Systematic Review with Meta-analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *54*(7), 1801–1833. https://doi.org/10.1007/s40279-024-02018-z

Lock, M., Yousef, I., McFadden, B., Mansoor, H., & Townsend, N. (2024). Cardiorespiratory Fitness and Performance Adaptations to High-Intensity Interval Training: Are There Differences Between Men and Women? A Systematic Review with Meta-Analyses. *Sports Medicine*, *54*(1), 127–167. https://doi.org/10.1007/s40279-023-01914-0

Long, Y. C., & Zierath, J. R. (2006). AMP-activated protein kinase signaling in metabolic regulation. *The Journal of Clinical Investigation*, *116*(7), 1776–1783. https://doi.org/10.1172/JCI29044

LOPEZ, P., RADAELLI, R., TAAFFE, D. R., NEWTON, R. U., GALVÃO, D. A., TRAJANO, G. S., TEODORO, J. L., KRAEMER, W. J., HÄKKINEN, K., & PINTO, R. S. (2021). Resistance Training Load Effects on Muscle Hypertrophy and Strength Gain: Systematic Review and Network Meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *53*(6), 1206–1216. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002585

Lum, D., & Barbosa, T. M. (2019). Effects of Strength Training on Olympic Time-Based Sport Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *14*(10), 1318–1330. https://doi.org/10.1123/ijspp.2019-0329

Lundberg, T. R., Fernandez-Gonzalo, R., Gustafsson, T., & Tesch, P. A. (2012). Aerobic exercise alters skeletal muscle molecular responses to resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *44*(9), 1680–1688. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318256fbe8

Lundberg, T. R., Fernandez-Gonzalo, R., Gustafsson, T., & Tesch, P. A. (2013). Aerobic exercise does not compromise muscle hypertrophy response to short-term resistance training. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, *114*(1), 81–89. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01013.2012

Lundberg, T. R., Feuerbacher, J. F., Sünkeler, M., & Schumann, M. (2022). The Effects of Concurrent Aerobic and Strength Training on Muscle Fiber Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, *52*(10), 2391–2403. https://doi.org/10.1007/s40279-022-01688-x

Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N., & Duchateau, J. (2016). Rate of force development: Physiological and methodological considerations. *European Journal of Applied Physiology*, *116*, 1091–1116. https://doi.org/10.1007/s00421-016-3346-6

Mann, T. N., Lamberts, R. P., & Lambert, M. I. (2014). High Responders and Low Responders: Factors Associated with Individual Variation in Response to Standardized Training. *Sports Medicine*, *44*(8), 1113–1124. https://doi.org/10.1007/s40279-014-0197-3

Markov, A., Chaabene, H., Hauser, L., Behm, S., Bloch, W., Puta, C., & Granacher, U. (2022). Acute Effects of Aerobic Exercise on Muscle Strength and Power in Trained Male Individuals: A Systematic Review with Meta-analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.z.)*, *52*(6), 1385–1398. https://doi.org/10.1007/s40279-021-01615-6

Mathieu, B., Robineau, J., Piscione, J., & Babault, N. (2022). Concurrent Training Programming: The Acute Effects of Sprint Interval Exercise on the Subsequent Strength Training. *Sports*, *10*(5), Article 5. https://doi.org/10.3390/sports10050075

McGlory, C., & Phillips, S. M. (2015). Chapter Seven—Exercise and the Regulation of Skeletal Muscle Hypertrophy. In C. Bouchard (Ed.), *Progress in Molecular Biology and Translational Science* (Roč. 135, s.

153–173). Academic Press. https://doi.org/10.1016/bs.pmbts.2015.06.018

McKay, A. K. A., Stellingwerff, T., Smith, E. S., Martin, D. T., Mujika, I., Goosey-Tolfrey, V. L., Sheppard, J., & Burke, L. M. (2021). *Defining Training and Performance Caliber: A Participant Classification Framework*. https://doi.org/10.1123/ijspp.2021-0451

McNulty, K. L., Elliott-Sale, K. J., Dolan, E., Swinton, P. A., Ansdell, P., Goodall, S., Thomas, K., & Hicks, K. M. (2020). The Effects of Menstrual Cycle Phase on Exercise Performance in Eumenorrheic Women: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.z.)*, *50*(10), 1813–1827. https://doi.org/10.1007/s40279-020-01319-3

Methenitis, S. (2018). A Brief Review on Concurrent Training: From Laboratory to the Field. *Sports*, *6*(4), 127. https://doi.org/10.3390/sports6040127

Meyler, S., Bottoms, L., & Muniz-Pumares, D. (2021). Biological and methodological factors affecting response variability to endurance training and the influence of exercise intensity prescription. *Experimental Physiology*, *106*(7), 1410–1424. https://doi.org/10.1113/EP089565

McHugh, M. P. (2003). Recent advances in the understanding of the repeated bout effect: The protective effect against muscle damage from a single bout of eccentric exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *13*(2), 88–97. https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2003.02477.x

Mikkola, J., Rusko, H., Izquierdo, M., Gorostiaga, E. M., & Häkkinen, K. (2012). Neuromuscular and cardiovascular adaptations during concurrent strength and endurance training in untrained men. *International Journal of Sports Medicine*, *33*(9), 702–710. https://doi.org/10.1055/s-0031-1295475

Mikkonen, R. S., Ihalainen, J. K., Hackney, A. C., & Häkkinen, K. (2024). Perspectives on Concurrent Strength and Endurance Training in Healthy Adult Females: A Systematic Review. *Sports Medicine (Auckland, N.z.)*, *54*(3), 673–696. https://doi.org/10.1007/s40279-023-01955-5

Millet, G. Y., & Lepers, R. (2004). Alterations of Neuromuscular Function After Prolonged Running, Cycling and Skiing Exercises. *Sports Medicine*, *34*(2), 105–116. https://doi.org/10.2165/00007256-200434020-00004

Monserdà-Vilaró, A., Balsalobre-Fernández, C., Hoffman, J. R., Alix-Fages, C., & Jiménez, S. L. (2023). Effects of Concurrent Resistance and Endurance Training Using Continuous or Intermittent Protocols on Muscle Hypertrophy: Systematic Review With Meta-Analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *37*(3), 688. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004304

Montero, D., & Lundby, C. (2017). Refuting the myth of non-response to exercise training: 'Non-responders' do respond to higher dose of training. *The Journal of Physiology*, *595*(11), 3377–3387. https://doi.org/10.1113/JP273480

Moore, D. R., Sygo, J., & Morton, J. P. (2022). Fuelling the female athlete: Carbohydrate and protein recommendations. *European Journal of Sport Science*, *22*(5), 684–696. https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1922508

Moro, T., Brightwell, Camille. R., Phalen, D. E., McKenna, C. F., Lane, S. J., Porter, C., Volpi, E., Rasmussen, B. B., & Fry, C. S. (2019). Low skeletal muscle capillarization limits muscle adaptation to resistance exercise training in older adults. *Experimental gerontology*, *127*, 110723. https://doi.org/10.1016/j.exger.2019.110723

Morton, R. W., Murphy, K. T., McKellar, S. R., Schoenfeld, B. J., Henselmans, M., Helms, E., Aragon, A. A., Devries, M. C., Banfield, L., Krieger, J. W., & Phillips, S. M. (2018). A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults. *British Journal of Sports Medicine*, *52*(6), 376–384. https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097608

Müller, M. J., Braun, W., Pourhassan, M., Geisler, C., & Bosy-Westphal, A. (2016). Application of standards and models in body composition analysis. *Proceedings of the Nutrition Society*, *75*(2), 181–187. https://doi.org/10.1017/S0029665115004206

Murach, K. A., & Bagley, J. R. (2016). Skeletal Muscle Hypertrophy with Concurrent Exercise Training: Contrary Evidence for an

Interference Effect. *Sports Medicine*, *46*(8), 1029–1039. https://doi.org/10.1007/s40279-016-0496-y

Murlasits, Z., Kneffel, Z., & Thalib, L. (2018). The physiological effects of concurrent strength and endurance training sequence: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, *36*(11), 1212–1219. https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1364405

Nader, G. A. (2006). Concurrent Strength and Endurance Training: From Molecules to Man. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *38*(11), 1965. https://doi.org/10.1249/01.mss.0000233795.39282.33

Nana, A., Slater, G. J., Hopkins, W. G., & Burke, L. M. (2012). Effects of Daily Activities on Dual-Energy X-ray Absorptiometry Measurements of Body Composition in Active People. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *44*(1), 180. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318228b60e

Noh, K.-W., Seo, E.-K., & Park, S. (2024). Effects of Exercise Type on Muscle Strength and Body Composition in Men and Women: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Medicina*, *60*(7), 1186. https://doi.org/10.3390/medicina60071186

NSCA-National Strength & Conditioning. (2012). *NSCA's Guide to Tests and Assessments* (T. A. Miller, Ed.). Human Kinetics.

Nunes, E. A., Colenso-Semple, L., McKellar, S. R., Yau, T., Ali, M. U., Fitzpatrick-Lewis, D., Sherifali, D., Gaudichon, C., Tomé, D., Atherton, P. J., Robles, M. C., Naranjo-Modad, S., Braun, M., Landi, F., & Phillips, S. M. (2022). Systematic review and meta-analysis of protein intake to support muscle mass and function in healthy adults. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, *13*(2), 795–810. https://doi.org/10.1002/jcsm.12922

O'Leary, T. J., Collett, J., Howells, K., & Morris, M. G. (2017). Endurance capacity and neuromuscular fatigue following high- vs moderate-intensity endurance training: A randomized trial. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *27*(12), 1648–1661. https://doi.org/10.1111/sms.12854

Panissa, V. L. G., Greco, C. C., Ribeiro, N., Julio, U. F., Tricoli, V., & Franchini, E. (2022). Concurrent Training and the Acute Interference Effect on Strength: Reviewing the Relevant Variables. *Strength &*

Conditioning Journal, *44*(3), 46. https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000668

Panissa, V. L. G., Tricoli, V. A. A., Julio, U. F., Ribeiro, N., de Azevedo Neto, R. M. A., Carmo, E. C., & Franchini, E. (2015). Acute Effect of High-Intensity Aerobic Exercise Performed on Treadmill and Cycle Ergometer on Strength Performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *29*(4), 1077. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000706

Pattison, K. J., Drinkwater, E. J., Bishop, D. J., Stepto, N. K., & Fyfe, J. J. (2020). Modulation of Countermovement Jump–Derived Markers of Neuromuscular Function With Concurrent vs. Single-Mode Resistance Training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *34*(6), 1497. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003587

Perez-Schindler, J., Hamilton, D. L., Moore, D. R., Baar, K., & Philp, A. (2015). Nutritional strategies to support concurrent training. *European Journal of Sport Science*, *15*(1), 41–52. https://doi.org/10.1080/17461391.2014.950345

Peterson, M. D., Rhea, M. R., & Alvar, B. A. (2005). Applications of the dose-response for muscular strength development: A review of meta-analytic efficacy and reliability for designing training prescription. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *19*(4), 950–958. https://doi.org/10.1519/R-16874.1

Petré, H., Hemmingsson, E., Rosdahl, H., & Psilander, N. (2021). Development of Maximal Dynamic Strength During Concurrent Resistance and Endurance Training in Untrained, Moderately Trained, and Trained Individuals: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*, *51*(5), 991–1010. https://doi.org/10.1007/s40279-021-01426-9

Petré, H., Löfving, P., & Psilander, N. (2018). The Effect of Two Different Concurrent Training Programs on Strength and Power Gains in Highly-Trained Individuals. *Journal of Sports Science and Medicine*, *17*(2), 167–173. https://www.jssm.org/hf.php?id=jssm-17-167.xml

Pickering, C., & Kiely, J. (2019). Do Non-Responders to Exercise Exist—And If So, What Should We Do About Them? *Sports Medicine*, *49*(1), 1–7. https://doi.org/10.1007/s40279-018-01041-1

Pito, P. G., Cardoso, J. R., Tufano, J., & Guariglia, D. (2021). Effects of Concurrent Training on 1RM and VO2 in Adults: Systematic Review with Meta-analysis. *International Journal of Sports Medicine*, *43*, 297–304. https://doi.org/10.1055/a-1506-3007

Prieto-González, P., & Sedlacek, J. (2022). Effects of Running-Specific Strength Training, Endurance Training, and Concurrent Training on Recreational Endurance Athletes' Performance and Selected Anthropometric Parameters. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(17), Article 17. https://doi.org/10.3390/ijerph191710773

Prior, S. J., Ryan, A. S., Blumenthal, J. B., Watson, J. M., Katzel, L. I., & Goldberg, A. P. (2016). Sarcopenia Is Associated With Lower Skeletal Muscle Capillarization and Exercise Capacity in Older Adults. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, *71*(8), 1096–1101. https://doi.org/10.1093/gerona/glw017

Pye, J., & Hamilton, A. (2010). *Advanced fitness training for elite sports performance*.

Ralston, G. W., Kilgore, L., Wyatt, F. B., & Baker, J. S. (2017). The Effect of Weekly Set Volume on Strength Gain: A Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.z.)*, *47*(12), 2585–2601. https://doi.org/10.1007/s40279-017-0762-7

Räntilä, A., Ahtiainen, J. P., Avela, J., Restuccia, J., Kidgell, D., & Häkkinen, K. (2021). High Responders to Hypertrophic Strength Training Also Tend to Lose More Muscle Mass and Strength During Detraining Than Low Responders. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *35*(6), 1500–1511. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004044

Reed, J. P., Schilling, B. K., & Murlasits, Z. (2013). Acute neuromuscular and metabolic responses to concurrent endurance and resistance exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *27*(3), 793–801. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31825c2d3e

Refalo, M. C., Trexler, E. T., & Helms, E. R. (2025). Effect of Dietary Protein on Fat-Free Mass in Energy Restricted, Resistance-Trained Individuals: An Updated Systematic Review With Meta-Regression.

Strength & Conditioning Journal, 10.1519/SSC.0000000000000888. https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000888

Ribeiro, J., Afonso, J., Camões, M., Sarmento, H., Sá, M., Lima, R., Oliveira, R., & Clemente, F. M. (2021). Methodological Characteristics, Physiological and Physical Effects, and Future Directions for Combined Training in Soccer: A Systematic Review. *Healthcare*, *9*(8), Article 8. https://doi.org/10.3390/healthcare9081075

Richter, E. A., & Ruderman, N. B. (2009). AMPK and the biochemistry of exercise: Implications for human health and disease. *The Biochemical journal*, *418*(2), 261–275. https://doi.org/10.1042/BJ20082055

Robbins, D. W., Marshall, P. W. M., & McEwen, M. (2012). The effect of training volume on lower-body strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *26*(1), 34–39. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31821d5cc4

Roberts, B. M., Nuckols, G., & Krieger, J. W. (2020). Sex Differences in Resistance Training: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *34*(5), 1448–1460. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003521

Roberts, M. D., Haun, C. T., Vann, C. G., Osburn, S. C., & Young, K. C. (2020). Sarcoplasmic Hypertrophy in Skeletal Muscle: A Scientific „Unicorn" or Resistance Training Adaptation? *Frontiers in Physiology*, *11*, 816. https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00816

Robineau, J., Babault, N., Piscione, J., Lacome, M., & Bigard, A. X. (2016). Specific Training Effects of Concurrent Aerobic and Strength Exercises Depend on Recovery Duration. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *30*(3), 672. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000798

Romieu, I., Dossus, L., Barquera, S., Blottière, H. M., Franks, P. W., Gunter, M., Hwalla, N., Hursting, S. D., Leitzmann, M., Margetts, B., Nishida, C., Potischman, N., Seidell, J., Stepien, M., Wang, Y., Westerterp, K., Winichagoon, P., Wiseman, M., Willett, W. C., & On behalf of the IARC working group on Energy Balance and Obesity. (2017). Energy balance and obesity: What are the main drivers? *Cancer Causes & Control*, *28*(3), 247–258. https://doi.org/10.1007/s10552-017-0869-z

Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2012). High volume of endurance training impairs adaptations to 12 weeks of strength training in well-trained endurance athletes. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(4), 1457–1466. https://doi.org/10.1007/s00421-011-2112-z

Rønnestad, B. R., & Mujika, I. (2014). Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *24*(4), 603–612. https://doi.org/10.1111/sms.12104

Sabag, A., Najafi, A., Michael, S., Esgin, T., Halaki, M., & Hackett, D. (2018). The compatibility of concurrent high intensity interval training and resistance training for muscular strength and hypertrophy: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, *36*(21), 2472–2483. https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1464636

Sale, D. G., Jacobs, I., MacDougall, J. D., & Garner, S. (1990). Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *22*(3), 348–356.

Sarzynski, M. A., Rice, T. K., Després, J.-P., Pérusse, L., Tremblay, A., Stanforth, P. R., Tchernof, A., Barber, J. L., Falciani, F., Clish, C., Robbins, J. M., Ghosh, S., Gerszten, R. E., Leon, A. S., Skinner, J. S., Rao, D. C., & Bouchard, C. (2022). The HERITAGE Family Study: A Review of the Effects of Exercise Training on Cardiometabolic Health, with Insights into Molecular Transducers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *54*(5 Suppl), S1. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002859

Senefeld, J. W., & Hunter, S. K. (2024). Hormonal Basis of Biological Sex Differences in Human Athletic Performance. *Endocrinology*, *165*(5), bqae036. https://doi.org/10.1210/endocr/bqae036

Shamim, B., Camera, D. M., & Whitfield, J. (2021). Myofibre Hypertrophy in the Absence of Changes to Satellite Cell Content Following Concurrent Exercise Training in Young Healthy Men. *Frontiers in Physiology*, *12*. https://doi.org/10.3389/fphys.2021.625044

Shamim, B., Devlin, B. L., Timmins, R. G., Tofari, P., Lee Dow, C., Coffey, V. G., Hawley, J. A., & Camera, D. M. (2018). Adaptations to Concurrent Training in Combination with High Protein Availability: A

Comparative Trial in Healthy, Recreationally Active Men. *Sports Medicine*, *48*(12), 2869–2883. https://doi.org/10.1007/s40279-018-0999-9

Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017). Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, *35*(11), 1073–1082. https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1210197

Schumann, M., Feuerbacher, J. F., Sünkeler, M., Freitag, N., Rønnestad, B. R., Doma, K., & Lundberg, T. R. (2022). Compatibility of Concurrent Aerobic and Strength Training for Skeletal Muscle Size and Function: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, *52*(3), 601–612. https://doi.org/10.1007/s40279-021-01587-7

Schumann, M., Yli-Peltola, K., Abbiss, C. R., & Häkkinen, K. (2015). Cardiorespiratory Adaptations during Concurrent Aerobic and Strength Training in Men and Women. *PLoS ONE*, *10*(9), e0139279. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139279

Siddique, U., Rahman, S., Frazer, A. K., Pearce, A. J., Howatson, G., & Kidgell, D. J. (2020). Determining the Sites of Neural Adaptations to Resistance Training: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*, *50*(6), 1107–1128. https://doi.org/10.1007/s40279-020-01258-z

Silva, R. F., Cadore, E. L., Kothe, G., Guedes, M., Alberton, C. L., Pinto, S. S., Pinto, R. S., Trindade, G., & Kruel, L. F. M. (2012). Concurrent training with different aerobic exercises. *International Journal of Sports Medicine*, *33*(8), 627–634. https://doi.org/10.1055/s-0031-1299698

Sims, S. T., Kerksick, C. M., Smith-Ryan, A. E., Janse de Jonge, X. A. K., Hirsch, K. R., Arent, S. M., Hewlings, S. J., Kleiner, S. M., Bustillo, E., Tartar, J. L., Starratt, V. G., Kreider, R. B., Greenwalt, C., Rentería, L. I., Ormsbee, M. J., VanDusseldorp, T. A., Campbell, B. I., Kalman, D. S., & Antonio, J. (2023). International society of sports nutrition position stand: Nutritional concerns of the female athlete. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *20*(1), 2204066. https://doi.org/10.1080/15502783.2023.2204066

Sirago, G., Picca, A., Calvani, R., Coelho-Júnior, H. J., & Marzetti, E. (2022). Mammalian Target of Rapamycin (mTOR) Signaling at the Crossroad of Muscle Fiber Fate in Sarcopenia. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(22), Article 22. https://doi.org/10.3390/ijms232213823

Song, Z., Moore, D. R., Hodson, N., Ward, C., Dent, J. R., O'Leary, M. F., Shaw, A. M., Hamilton, D. L., Sarkar, S., Gangloff, Y.-G., Hornberger, T. A., Spriet, L. L., Heigenhauser, G. J., & Philp, A. (2017). Resistance exercise initiates mechanistic target of rapamycin (mTOR) translocation and protein complex co-localisation in human skeletal muscle. *Scientific Reports*, *7*(1), 5028. https://doi.org/10.1038/s41598-017-05483-x

Sousa, A. C., Neiva, H. P., Izquierdo, M., Cadore, E. L., Alves, A. R., & Marinho, D. A. (2019). Concurrent Training and Detraining: Brief Review on the Effect of Exercise Intensities. *International Journal of Sports Medicine*, *40*, 747–755. https://doi.org/10.1055/a-0975-9471

Sparks, L. M. (2017). Exercise training response heterogeneity: Physiological and molecular insights. *Diabetologia*, *60*(12), 2329–2336. https://doi.org/10.1007/s00125-017-4461-6

Sporer, B. C., & Wenger, H. A. (2003). Effects of aerobic exercise on strength performance following various periods of recovery. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *17*(4), 638–644. https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0638:eoaeos>2.0.co;2

Steinberg, G. R., & Hardie, D. G. (2023). New insights into activation and function of the AMPK. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, *24*(4), 255–272. https://doi.org/10.1038/s41580-022-00547-x

Stevens, G. H. J., Wilson, B. W., & Raven, P. B. (1986). AEROBIC CONTRIBUTION TO THE WINGATE TEST. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *18*(2), S2. https://journals.lww.com/acsm-msse/citation/1986/04001/aerobic_contribution_to_the_wingate_test.7.aspx

Stone, M. H., Hornsby, W. G., Suarez, D. G., Duca, M., & Pierce, K. C. (2022). Training Specificity for Athletes: Emphasis on Strength-Power Training: A Narrative Review. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, *7*(4), 102. https://doi.org/10.3390/jfmk7040102

Swann, C., Moran, A., & Piggott, D. (2015). Defining elite athletes: Issues in the study of expert performance in sport psychology. *Psychology of Sport and Exercise*, *16*, 3–14. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.07.004

Škarabot, J., Brownstein, C. G., Casolo, A., Del Vecchio, A., & Ansdell, P. (2021). The knowns and unknowns of neural adaptations to resistance training. *European Journal of Applied Physiology*, *121*(3), 675–685. https://doi.org/10.1007/s00421-020-04567-3

Šuc, A., Šarko, P., Pleša, J., & Kozinc, Ž. (2022). Resistance Exercise for Improving Running Economy and Running Biomechanics and Decreasing Running-Related Injury Risk: A Narrative Review. *Sports (Basel, Switzerland)*, *10*(7), 98. https://doi.org/10.3390/sports10070098

Taipale, R. S., Schumann, M., Mikkola, J., Nyman, K., Kyröläinen, H., Nummela, A., & Häkkinen, K. (2014). Acute neuromuscular and metabolic responses to combined strength and endurance loadings: The „order effect" in recreationally endurance trained runners. *Journal of Sports Sciences*, *32*(12), 1155–1164. https://doi.org/10.1080/02640414.2014.889842

Tamaki, T., Akatsuka, A., Tokunaga, M., Ishige, K., Uchiyama, S., & Shiraishi, T. (1997). Morphological and biochemical evidence of muscle hyperplasia following weight-lifting exercise in rats. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, *273*(1), C246–C256. https://doi.org/10.1152/ajpcell.1997.273.1.C246

Tang, J. E., Hartman, J. W., & Phillips, S. M. (2006). Increased muscle oxidative potential following resistance training induced fibre hypertrophy in young men. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition Et Metabolisme*, *31*(5), 495–501. https://doi.org/10.1139/h06-026

Tarnopolsky, M. A. (2008). Sex differences in exercise metabolism and the role of 17-beta estradiol. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *40*(4), 648–654. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31816212ff

Thomas, A. C. Q., Brown, A., Hatt, A. A., Manta, K., Costa-Parke, A., Kamal, M., Joanisse, S., McGlory, C., Phillips, S. M., Kumbhare, D., & Parise, G. (2022). Short-term aerobic conditioning prior to resistance training

augments muscle hypertrophy and satellite cell content in healthy young men and women. *The FASEB Journal*, *36*(9), e22500. https://doi.org/10.1096/fj.202200398RR

Thomas, D. T., Erdman, K. A., & Burke, L. M. (2016). American College of Sports Medicine Joint Position Statement. Nutrition and Athletic Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *48*(3), 543–568. https://doi.org/10.1249/mss.0000000000000852

Timmins, R. G., Shamim, B., Tofari, P. J., Hickey, J. T., & Camera, D. M. (2020). Differences in Lower Limb Strength and Structure After 12 Weeks of Resistance, Endurance, and Concurrent Training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *15*(9), 1223–1230. https://doi.org/10.1123/ijspp.2019-0788

Timmons, J. F., Minnock, D., Hone, M., Cogan, K. E., Murphy, J. C., & Egan, B. (2018). Comparison of time-matched aerobic, resistance, or concurrent exercise training in older adults. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *28*(11), 2272–2283. https://doi.org/10.1111/sms.13254

van der Zwaard, S., van der Laarse, W. J., Weide, G., Bloemers, F. W., Hofmijster, M. J., Levels, K., Noordhof, D. A., de Koning, J. J., de Ruiter, C. J., & Jaspers, R. T. (2018). Critical determinants of combined sprint and endurance performance: An integrative analysis from muscle fiber to the human body. *FASEB Journal: Official Publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology*, *32*(4), 2110–2123. https://doi.org/10.1096/fj.201700827R

Van Hooren, B., Aagaard, P., & Blazevich, A. J. (2024). Optimizing Resistance Training for Sprint and Endurance Athletes: Balancing Positive and Negative Adaptations. *Sports Medicine*, *54*(12), 3019–3050. https://doi.org/10.1007/s40279-024-02110-4

Vechin, F. C., Conceição, M. S., Telles, G. D., Libardi, C. A., & Ugrinowitsch, C. (2021). Interference Phenomenon with Concurrent Strength and High-Intensity Interval Training-Based Aerobic Training: An Updated Model. *Sports Medicine*, *51*(4), 599–605. https://doi.org/10.1007/s40279-020-01421-6

Vikestad, V., & Dalen, T. (2024). Effect of Strength and Endurance Training Sequence on Endurance Performance. *Sports*, *12*(8), 226. https://doi.org/10.3390/sports12080226

Warneke, K., Freund, P. A., & Schiemann, S. (2023). Long-Lasting Stretching Induces Muscle Hypertrophy: A Meta-Analysis of Animal Studies. *Journal of Science in Sport and Exercise*, *5*(4), 289–301. https://doi.org/10.1007/s42978-022-00191-z

Watson, K., & Baar, K. (2014). mTOR and the health benefits of exercise. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, *36*, 130–139. https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2014.08.013

Welle, S., & Nair, K. S. (1990). Relationship of resting metabolic rate to body composition and protein turnover. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, *258*(6), E990–E998. https://doi.org/10.1152/ajpendo.1990.258.6.E990

WHO. (2021). *WHO Guidelines on Physical Activity and Sedentary Behaviour*. https://www.who.int/multi-media/details/who-guidelines-on-physical-activity-and-sedentary-behaviour

Wilkinson, S. B., Phillips, S. M., Atherton, P. J., Patel, R., Yarasheski, K. E., Tarnopolsky, M. A., & Rennie, M. J. (2008). Differential effects of resistance and endurance exercise in the fed state on signalling molecule phosphorylation and protein synthesis in human muscle. *The Journal of Physiology*, *586*(15), 3701–3717. https://doi.org/10.1113/jphysiol.2008.153916

Wilson, J. M., Marin, P. J., Rhea, M. R., Wilson, S. M. C., Loenneke, J. P., & Anderson, J. C. (2012). Concurrent Training: A Meta-Analysis Examining Interference of Aerobic and Resistance Exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *26*(8), 2293. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823a3e2d

Wojtaszewski, J. F. P., MacDonald, C., Nielsen, J. N., Hellsten, Y., Hardie, D. G., Kemp, B. E., Kiens, B., & Richter, E. A. (2003). Regulation of 5′AMP-activated protein kinase activity and substrate utilization in exercising human skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, *284*(4), E813–E822. https://doi.org/10.1152/ajpendo.00436.2002

Yamamoto, L. M., Klau, J. F., Casa, D. J., Kraemer, W. J., Armstrong, L. E., & Maresh, C. M. (2010). The effects of resistance training on road cycling performance among highly trained cyclists: A systematic review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*(2), 560–566. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c86583

Zourdos, M. C., Klemp, A., Dolan, C., Quiles, J. M., Schau, K. A., Jo, E., Helms, E., Esgro, B., Duncan, S., Garcia Merino, S., & Blanco, R. (2016). Novel Resistance Training–Specific Rating of Perceived Exertion Scale Measuring Repetitions in Reserve. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *30*(1), 267. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001049

.

Příloha A Vzor Informovaného souhlasu

Souhlas s účastí ve výzkumu a zpracováním osobních údajů

Informace o výzkumu

Název projektu: Srovnání efektu souběžného silového a vytrvalostního tréninku v porovnání se silovým tréninkem u trénované a netrénované populace

Hlavní výzkumník: Mgr. Dominik Puda (student Ph.D., obor Kinantropologie na Fakultě sportovních studií Masarykovy univerzity – FSpS MU)
Pracoviště: Katedra podpory zdraví (Fakulta sportovních studií, Masarykova univerzita)
Spolupracující pracoviště/instituce: Genexone DNA diagnostics, Olomouc
Období řešení projektu: Leden–Prosinec 2021
Zdroj financování: Grantová agentura Masarykovy univerzity

O čem je tento výzkumný projekt?

Hlavním cílem projektu je zjištění, jaký dopad bude mít odlišná intenzita vytrvalostních aktivit na vybrané parametry během souběžného silového a vytrvalostního tréninku, při porovnání se samotným silovým tréninkem, a to jak u trénované, tak netrénované populace.

Projekt je zaměřen na aktuální téma v prostředí sportovního tréninku, s cílem maximalizace sportovního výkonu. Souběžný silový a vytrvalostní trénink je aplikován v mnoha individuálních ale i týmových sportovních disciplínách. Tento typ tréninku je specifický vzhledem k tzv. interferenčnímu efektu, kdy bylo prokázáno, že vytrvalostní trénink může narušit adaptační procesy na odporový trénink (svalová hypertrofie, svalová síla, *power*).

Projekt by mohl pomoci s určením, zdali rozdílná intenzita vytrvalostní aktivity ovlivní výskyt interferenčního efektu a zda je tedy vhodnější pro maximalizaci výkonu zvolit vysoce intenzivní krátkodobou vytrvalostní aktivitu, či kontinuální vytrvalostní trénink o střední intenzitě.

Jak bude účast probíhat?

- V rámci výzkumu Vás čeká měření složení těla, testování maximální síly pomocí cviků bench press a dřep s velkou činkou, dále testování aerobní a anaerobní kapacity na bicyklovém ergometru či výskokový test pro posouzení dynamické síly dolních končetin. Pro zjištění varianty vybraných genů souvisejících se sportovním výkonem Vám bude odebrán vzorek DNA z ústní sliznice (jedná se o neinvazivní metodu, založenou na pouhém stěru ústní dutiny pěnovým válečkem/kartáčkem)
- Výzkumný projekt bude trvat 12 týdnů, podrobný harmonogram výzkumu je uveden níže:

1. **týden – informační schůzka**
    - Před samotným započetím proběhne informační schůzka, na které budete obeznámeni s výzkumem: jeho riziky; časovým harmonogramem; místem výzkumu a průběhem testování/vyšetření a požadavky na Vás kladenými. Samotná intervence, v průběhu které budete podstupovat vybraný typ tréninku (dle skupiny, do které budou umístěni) bude trvat 8 týdnů. Součástí informační schůzky bude rovněž seznámení se s vašimi výživovými zvyklostmi a následně případná doporučení týkající se příjmu potravy v kombinaci se zvýšenou zátěží v rámci tréninkové intervence.
2. **týden – pre-intervenční testování**
    - Před započetím intervence proběhne pre-intervenční testování spojené s třemi návštěvami FSpS MU v na sebe nenavazujících dnech:
    - 1. den – stěr z dutiny ústní pro analýzu DNA za účelem zjištění varianty vybraných genů (na konci Vašeho působení ve studii budete seznámeni s výsledky Vašeho genetického vyšetření a obeznámení s vlivem či funkcí dané varianty genů); měření antropometrických ukazatelů – měření na přístroji DEXA – jedná se o neinvazivní posouzení složení těla a kostní hmoty
        - V tento den budete rovněž požádáni o zápis 24 hodinového nutričního recallu (tedy zápisu všech jídel a nápojů konzumovaných v posledních 24 hodinách)
    - 2. den – Testování dynamometrických ukazatelů – maximální výkon při provedení cviků dřep a bench press

- 3. den – Testování anaerobního výkonu a aerobní kapacity (VO2max) – provedení zátěžového testu Wingate test (30s šlapání na bicyklovém ergometru do maxima), zjištění výbušné síly dolních končetin pomocí cviku „countermovement jump“ (skok do dálky/výšky z protipohybu)

3-6. týden – Intervenční program

- Dle rozřazení do jednotlivých intervenčních skupin (dle ukazatele lean body mass, tedy množství netukové tkáně) budete docházet 3x týdně na FSpS MU v dohodnutých časových intervalech:
  - Skupina *Odporový trénink + HIIT* bude provádět odporový trénink následován vysoce intenzivním intervalovým tréninkem (HIIT). Mezi tréninkovými jednotkami bude vložena 15minutová přestávka.
  - Skupina *Odporový trénink + KVT* bude provádět odporový trénink následován kontinuální vytrvalostní aktivitou o střední intenzitě (KVT). Mezi tréninkovými jednotkami bude vložena 15minutová přestávka.
  - Skupina *Odporový trénink* bude provádět pouze tréninkovou jednotku odporového tréninku
- Před započetím samotné intervence budete požádáni o detailní zápis příjmu potravy v posledních 72 hodinách za účelem stanovení habituálního příjmu energie a makronutrientů (sacharidů, bílkovin, tuků)

7. týden – Testování anaerobního výkonu a svalové síly

- Proběhne testování anaerobního výkonu (wingate test) a svalové síly (bench press, dřep s velkou činkou) obdobným způsobem jako úvodní testování v týdnu č. 2

8-11. týden – Druhá část intervence

- dle naměřených hodnot z minulého týdne bude možná úprava intenzity/objemu tréninkového protokolu

12. týden – Závěrečné testování

- 3 návštěvy laboratoří FSpS MU, totožný průběh jako u pre-intervenčního testování (bez absolvování stěru z dutiny ústní)

Pro účast ve výzkumu je nutné splnit následující podmínky:

1) Jste bez zdravotního omezení;
2) Nepodstupoval jste v posledním roce tento typ tréninku;

3) Nepodstupoval jste minimálně půl roku před započetím intervence žádný systematický silový či vytrvalostní trénink;
4) Jste muž ve věku 18-30 let.

Jaké jsou výhody/odměna za účast v tomto výzkumu?
S účastí ve výzkumu není spojená žádná finanční či materiální odměna.
Výhody účasti ve výzkumu jsou následující:

1. absolvování zátěžových vyšetření, pro zjištění aktuální fyzické kondice
2. detailní posouzení složení těla pomocí přístroje DEXA
3. zjištění varianty polymorfismu vybraných genů, které mohou mezi jinými ovlivnit sportovní výkon či adaptaci na tréninkovou intervenci
4. tréninkový plán včetně absolování tréninkové intervence pod dohledem trenéra

Jaké jsou nevýhody/rizika účasti v tomto výzkumu?

Vzhledem k charakteru intervence je možné, že se u účastníků výzkumu vyskytnou běžné komplikace pohybového aparátu spojené s pohybovou aktivitou (svalová zranění, kloubní poranění apod.)
Rizika poškození zdraví při zátěžovém testování jsou:
Mezi nejzávažnější srdeční komplikace patří vznik akutního infarktu myokardu (0,05 %) nebo maligní
arytmie (porucha srdečního rytmu), které jsou okamžitě rozpoznány a náležitě ošetřeny. V případě
rozpoznání jakýchkoli komplikací během vstupního vyšetření nebude následná účast na
výzkumu možná. Riziko je vyšší u nemocných s prokázanou ischemickou chorobou srdeční, zvláště v
časné fázi infarktu myokardu. Riziko náhlé smrti je cca 0,01 %. Další komplikace nesrdeční, které
mohou nastat, jsou svalové či kloubní postižení, neurologické příznaky, závratě, slabost, přetrvávající
únava apod.
Během měření tělesného složení na přístroji DEXA budete vystaveni velmi slabému rentgenovému záření o dvou energiích. Potenciální riziko spojené s technikami používanými pro hodnocení stavu kostí a složení těla je velmi malé, protože dávky záření jsou nízké.

Jaký je postup v případě náhodného nálezu?
Vyšetření probíhá za účelem vědeckého výzkumu. Účelem vyšetření není poskytování zdravotních služeb nebo zjišťování Vašeho zdravotního stavu. Sesbíraná data nebude vyhodnocovat lékař, ale vědecký pracovník. V případě, že by vědecký pracovník pojal podezření na možné zdravotní komplikace, máte právo být o tomto podezření informován a následně podezření zkonzultovat s lékařem. Prosím, zde uveďte své kontaktní údaje, na které Vám případně můžeme oznámit své případné podezření. V případě, že si nepřejete být informován, nechte tuto kolonku nevyplněnou.

Adresa:
email:
tel.

Jaké osobní údaje jsou v tomto výzkumném projektu sbírány?

- *základní údaje - jméno, příjmení, věk, pohlaví, výška, váha, složení těla*
- *odpovědi z dotazníků/ záznamy stravovacích zvyklostí pro posouzení habituálního příjmu energie a makronutrientů*
- *naměřená data ze zátěžových testů, testování max. síly*
- *výsledky analýzy odběrů DNA z bukální sliznice*
- *kontaktní údaje (email, telefon)*

Jak budou osobní údaje zpracovávány?

- *Vaše údaje, výsledky z měření a dotazování, vzorky DNA budou sbírány v kódované (tzv. pseudonymizované) podobě. Na počátku realizace výzkumu Vám bude přidělen číselný kód, pod kterým budou probíhat veškerá měření, sběr vzorků a dotazování. Soubor obsahující převod jména na číselný kód (kódovací klíč) umožňující propojení údajů bude mít k dispozici pouze hlavní řešitel projektu. Po ukončení sběru dat od všech účastníků bude soubor obsahující převod jména na číselný kód nenávratně smazán a dále budou zpracovávána pouze anonymní data označená číselnými kódy bez možnosti Vaší identifikace.*
- *Vzorek DNA z bukální sliznice bude odebírán Vámi po přečtení návodu a vysvětlení postupu, vzorky budou označeny kódem, který Vám bude na začátku přiřazen a následně budou odesílány v této podobě k analýze do laboratoře; po analýze budou vzorky likvidovány dle provozního řádu laboratoře*

- Podepsané informované souhlasy budou uloženy na uzamčeném místě v kanceláři
  hlavního řešitele projektu; převodní soubor i naměřená data budou zálohována
  na USB disku
- K Vašim osobním údajům bude mít přístup pouze hlavní řešitel projektu a budou uloženy odděleně od výsledků měření.

Jak dlouho budou osobní údaje uloženy?

- *Vaše osobní údaje budeme uchovávat pouze po dobu řešení projektu, poté budou data anonymizována, tj. převedena do podoby, která neumožňuje Vaši identifikaci.*
- *Vaše kontaktní údaje (e-mail, telefon, ...) budou použity pouze pro účely tohoto projektu a po ukončení sběru dat budou smazány.*

Získaná data v anonymní podobě mohou být použita v dalších výzkumných projektech v této oblasti.

Povinně poskytované informace dle Obecného nařízení o ochraně osobních údajů (EU 2016/679, GDPR)

Vaše osobní údaje budeme zpracovávat na základě Vámi uděleného souhlasu pro účely výzkumu v oblasti sportovního tréninku.
Správce osobních údajů: Masarykova univerzita, Žerotínovo nám. 617/9, 601 77 Brno
Kontaktní osoba pro zpracování osobních údajů: Mgr. Dominik Puda, Fakulta sportovních studií Masarykova univerzita, dominik.puda@mail.muni.cz, 724 587 249

Kontakt na pověřence pro ochranu osobních údajů: povereneC@muni.cz
Předávání osobních údajů mimo MU: /
Mimo MU budou za účelem zpracování a vyhodnocení variant vybraných genů předávány Vaše vzorky DNA (v anonymizované podobě). Vzorky v anonymizované podobě budou předávány firmě Genexone DNA diagnostics sídlící v Olomouci. Tyto vzorky budou po analýze zničeny.
Vaše práva v souvislosti se zpracováním osobních údajů:

- požadovat přístup k osobním údajům týkajícím se Vaší osoby, jejich opravu nebo výmaz, popřípadě omezení zpracování,
- podat stížnost dozorovému orgánu (Úřad pro ochranu osobních údajů, www.uoou.cz) v případě, že se domníváte, že zpracování osobních údajů probíhá v rozporu s právními předpisy;

- souhlas se zpracováním osobních údajů udělený níže kdykoliv odvolat, aniž by za to hrozila jakákoliv sankce či znevýhodnění, a to oznámením na kontaktní údaje správce osobních údajů. Zákonnost zpracování údajů před odvoláním souhlasu tím není dotčena.

Je účast v tomto výzkumu povinná?
Účast na výzkumu je zcela dobrovolná a máte právo odstoupit z výzkumu bez udání důvodu, a to až do doby ukončení post-intervenčního testování. Od výzkumu lze odstoupit oznámením na emailovou adresu hlavního řešitele výzkumu (dominik.puda@mail.muni.cz)
Vaši účast ve výzkumu může ukončit rovněž člen řešitelského týmu, pokud se bude domnívat, že takový postup je ve Vašem nejlepším zájmu, přičemž k ukončení účasti nebude potřebovat Váš souhlas.

Kde se dozvědět více?
Pokud máte jakékoliv doplňující dotazy ohledně této studie, můžete se obrátit na členy výzkumného týmu (Mgr. Dominik Puda, Fakulta sportovních studií, Masarykova univerzita, Kamenice 5, Brno-Bohunice, dominik.puda@mail.muni.cz)
Tento projekt byl schválen Etickou komisí pro výzkum Masarykovy univerzity. V případě dotazů, nejasností či připomínek k průběhu výzkumu můžete kontaktovat vedení komise na adrese ekv@muni.cz

Souhlas s účastí ve výzkumu a zpracováním osobních údajů

Na základě výše uvedených informací:

- **Souhlasím** s účastí v uvedeném výzkumném projektu (Srovnání efektu souběžného silového a vytrvalostního tréninku v porovnání se silovým tréninkem u trénované a netrénované populace).
- **Souhlasím** s výše uvedeným zpracováním osobních údajů pro výzkumné účely.
- **Souhlasím s provedením výše popsané analýzy DNA.**

Jméno a příjmení: …….. Podpis: ……

V …….. dne: ……

Za řešitelský tým:

Jméno a příjmení: …….. Podpis: ……

V …… dne: ……

Jeden výtisk tohoto souhlasu obdrží účastník a jeden si ponechá výzkumný tým