

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



Fakulta
tělesné kultury

MONITORING SPIROMETRICKÝCH UKAZATELŮ U SYNCHRONIZOVANÝCH PLAVKYŇ

Bakalářská práce

Autor: Ing. Lenka Hašková

Studijní program: Trenérství a sport – pedagogika volného času

Vedoucí práce: Mgr. Filip Neuls, Ph.D.

Olomouc 2024

Bibliografická identifikace

Jméno autora: Ing. Lenka Hašková

Název práce: Monitoring spirometrických ukazatelů u synchronizovaných plavkyň

Vedoucí práce: Mgr. Filip Neuls, Ph.D.

Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii

Rok obhajoby: 2024

Abstrakt:

Cílem této bakalářské práce bylo zjištění základních spirometrických ukazatelů u synchronizovaných plavkyň. Mezi sledované parametry patřila usilovná vitální kapacita (FVC), jednovteřinová vitální kapacita (FEV1), Tiffeneaův index (FEV1/VC%) a vrcholový výdechový průtok (PEF). Sběr dat byl realizován v oddílech synchronizovaného plavání VSK Univerzita Brno a Klubu plaveckých sportů policie Kometa Brno. Výzkumný soubor se skládal z 68 děvčat. Za použití dotazníkového šetření byla provedena jeho charakterizace. Statistická analýza dat byla provedena pomocí metody ANOVA a post-hoc Tukeyho metody. Bylo zjištěno, že až na Tiffeneaův index se absolutní hodnoty dynamických ventilačních parametrů zvyšují se zvyšující se věkovou kategorií, u FVC a FEV1 parametrů i se vzrůstající výškou děvčat. Taktéž byla zjištěna statisticky významná diference mezi všemi třemi kategoriemi v absolutních hodnotách FVC. U FEV1 a PEF byla zjištěna významná diference jen mezi krajními kategoriemi. V případě PEF to platilo i pro náležité hodnoty. Dále bylo potvrzeno, že naměřené hodnoty značně přesahovaly fyziologické hodnoty pro dané věkové kategorie a byly srovnatelné s daty jiných studií provedených u synchronizovaných plavkyň.

Klíčová slova:

Spirometrie, respirační funkce, dynamické plicní parametry, synchronizované plavání, adaptace dýchacího systému

Souhlasím s půjčováním práce v rámci knihovních služeb.

Bibliographical identification

Author: Ing. Lenka Hašková
Title: Monitoring of spirometry parameters in synchronized swimmers

Supervisor: Mgr. Filip Neuls, Ph.D.
Department: Department of Natural Sciences in Kinanthropology
Year: 2024

Abstract:

The aim of this bachelor's thesis was to determine the basic spirometric indicators in synchronized swimmers. The monitored parameters included forced vital capacity (FVC), forced expiratory volume in one second (FEV1), the Tiffeneau index (FEV1/VC%), and peak expiratory flow (PEF). Data collection was carried out in the clubs of synchronized swimming at VSK University Brno and the Swimming Sports Club of the Police Kometa Brno. The research sample consisted of 68 girls. Characterization of the sample was performed using a questionnaire survey. Statistical data analysis was conducted using the ANOVA and Tukey's post-hoc methods. It was found that, except for the Tiffeneau index, the absolute values of dynamic ventilatory parameters increased with increasing age category. For the FVC and FEV1 parameters, they also increased with the growing height of the girls. There was also a statistically significant difference between all three categories in the absolute values of FVC. For FEV1 and PEF, a significant difference was found only between category 2 and 4. For PEF, this also applied to the physiological values. Furthermore, it was confirmed that the measured values significantly exceeded the physiological values for the given age categories and were comparable with data from other studies conducted on synchronized swimmers.

Keywords:

Spirometry, respiratory function, dynamic lung parameters, synchronized swimming, adaptation of respiratory system

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

Prohlašuji, že jsem tuto práci zpracovala samostatně pod vedením Mgr. Filipa Neulse, Ph.D., uvedla všechny použité literární a odborné zdroje a dodržovala zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 30. června 2024

.....

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu své bakalářské práce Mgr. Filipovi Neulsovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu, cenné rady a podnětná doporučení, která mi během vypracování bakalářské práce poskytli. Dále bych ráda poděkovala všem synchronizovaným plavkyním, které se do měření zapojily. A zejména můj dík patří mé drahé matce, která mě v mém nekonečném studiu i nadále podporuje.

OBSAH

1	Úvod.....	9
2	Přehled poznatků.....	10
2.1	Synchronizované plavání	10
2.1.1	Historie.....	10
2.1.2	Charakteristika synchronizovaného plavání	11
2.1.3	Pravidla 2022-2025.....	14
2.1.4	Výkon v synchronizovaném plavání	16
2.2	Dechové funkce.....	21
2.2.1	Mechanika a regulace dýchání	21
2.2.2	Reakce a adaptace dýchacího systému na zátěž.....	23
2.2.3	Dýchání ve vodním prostředí	24
2.3	Spirometrie	26
2.3.1	Plicní objemy a kapacity.....	26
3	Cíle	29
3.1	Hlavní cíl.....	29
3.2	Dílčí cíle.....	29
3.3	Výzkumné otázky	29
4	Metodika	30
4.1	Výzkumný soubor	30
4.2	Metody sběru dat.....	35
4.3	Statistické zpracování dat	35
5	Výsledky	37
5.1	Spirometrie	37
5.2	Komparace ventilačních parametrů mezi skupinami	39
5.2.1	Usilovná vitální kapacita	39
5.2.2	Jednovteřinová vitální kapacita.....	40
5.2.3	Tiffeneaův index.....	41
5.2.4	Vrcholový výdechový průtok.....	41
6	Diskuse	43

7	Závěry	49
8	Souhrn.....	50
9	Summary	51
10	Referenční seznam	52
11	Přílohy	57
	11.1 Dotazník.....	57
	11.2 Informovaný souhlas	58
	11.3 Vyjádření etické komise.....	60

1 ÚVOD

Synchronizované plavání, které se řadí mezi koordinačně-estetické sporty, se vyznačuje svojí komplexností a náročností. Jeho podstata tkví v precizně zvládnuté plavecké a gymnastické technice, baletní a akrobatické průpravě a zejména specifickém tréninku.

I když bylo synchronizované plavání zařazeno mezi oficiální sportovní disciplíny až roku 1952, prošlo v uplynulé době 72 let neuvěřitelným vývojem. Mezi největší milníky v historii synchronizovaného plavání v posledních letech se bezpochyby řadí několik momentů, jako například změna názvu synchronizovaného plavání na „artistic swimming“ v roce 2017. Dále v roce 2022 došlo k radikální změně pravidel, která kompletně transformovala způsob hodnocení sestav a tvorby choreografií. Dalším mezníkem se stal historický krok Mezinárodního olympijského výboru, který poprvé v historii umožnil mužům startovat na Olympijských hrách 2024 v Paříži.

Výkon v synchronizovaném plavání se stává čím dál tím více intenzivnější, jak už z důvodu snižování času sestav, tak snaze o dosažení co nejvyšší obtížnosti. To vede k dlouhým apnoickým pauzám, které kladou vysoké nároky na kardiorespirační systém.

Předkládaná bakalářská práce se zabývá monitoringem spirometrických parametrů u synchronizovaných plavkyň. Jedná se konkrétně o dynamické plicní parametry, jako je usilovná vitální kapacita, jednovteřinová vitální kapacita, Tiffeneaův index a vrcholový výdechový průtok. V důsledku adaptačních změn způsobených dlouholetým specializovaným tréninkem by měly být hodnoty zmíněných parametrů značně zvýšené oproti fyziologickým hodnotám.

Záměrem této bakalářské práce je provedení spirometrického vyšetření u synchronizovaných plavkyň a porovnání získaných hodnot mezi kategoriemi.

2 PŘEHLED POZNATKŮ

2.1 Synchronizované plavání

Synchronizované plavání se řadí mezi koordinačně estetické sporty (Trhlíková, 2011). Je to sport, který začleňuje aspekty ostatních sportů včetně plavání, gymnastiky, baletu, vodního póla a skoků do vody. Sportovci v něm prokazují sílu, umělecký výkon, akrobacii a dynamiku. Všechny tyto atletické pohyby jsou synchronizovány s ostatními plavci a hudbou; to vše zatímco zdržují dech, jsou hlavou dolů a pohybují se ve vodě (FINA, 2021).

2.1.1 Historie

Synchronizované plavání, v minulosti známé jako „okrasné plavání“ nebo „vodní balet“, je komplexní sport, který spojuje sílu, vytrvalost, flexibilitu, umělecký dojem a precizní provedení. Tento sport prošel fascinující proměnou od zábavních vystoupení až po respektovanou olympijskou disciplínu (Mountjoy, 1999).

Kořeny synchronizovaného plavání sahají do počátku 20. století, kdy v roce 1907 Australanka Annette Kellermanová představila své vystoupení ve skleněné nádrži na newyorském hipodromu. Tímto si vysloužila přezdívku „underwater ballerina“. Jednou z průkopnic vodního baletu se stala Katherine Curtisová, která v roce 1931 na Chicagské univerzitě založila jeden z prvních klubů. Jejich vystoupení na Světové výstavě Century of Progress v Chicagu v roce 1934 se stalo klíčovým momentem (Fried & Carlsen, 2020). Moderátor Norman Ross zde poprvé použil termín „synchronizované plavání“ při snaze popsat počínání plavkyň během představení. Každé představení zhlédlo více než 10 tisíc diváků a bylo tak populární, že probíhalo po celé léto (Bean, 2005). Katherine Curtisová hrála také klíčovou roli v uznání synchronizovaného plavání jako oficiálního sportu v prosinci 1941. Za svůj přínos tomuto sportu byla v roce 1979 uvedena do Mezinárodní plavecké síně slávy (Fried & Carlsen, 2020).

V USA tento sport ve velké míře zpopularizovaly filmy s Esther Williamsovou (Mountjoy, 1999). Esther Williamsová ztvárnila Annette Kellermanovou ve filmu „Miliónová mořská panna“. Během 40. a 50. let 20. století hrála v řadě MGM „akvatických muzikálů“, čímž také přispěla k popularizaci synchronizovaného plavání (Fried & Carlsen, 2020). Sestavy se vyznačovaly převážně efektními plovoucími útvary.

V roce 1952 se synchronizované plavání pod záštitou Mezinárodní plavecké federace (FINA) proměnilo v regulérní soutěžní disciplínu. Poprvé se představilo na olympijských hrách v roce 1960 jako ukázkový sport a v roce 1969 se stalo oficiální součástí Panamerických her. Rok

1984 znamenal pro synchronizované plavání přelomový moment, kdy se stalo olympijským sportem na hrách v Los Angeles. Soutěže zahrnovaly jak sólové, tak i párové sestavy. Následující olympiády v Soulu a Barceloně se držely stejného formátu. Týmová soutěž se do olympijského programu zařadila až v roce 1996 v Atlantě. Vítězství si v tomto období připsaly Kanada a USA. Devadesátá léta znamenala pro synchronizované plavání celosvětový rozmach a nárůst konkurence pro tradiční severoamerické lídry (Mountjoy, 1999). Od Olympijských her v Sydney v roce 2000 ovládly všechny disciplíny ruské synchronizované plavkyně až do jejich zákazu startu (Paris 2024 Olympics, 2024). Během této doby získaly zlato nejen na olympijských hrách, ale také na mistrovstvích Evropy, světa a v závodech světového poháru.

V červenci 2017 došlo ke změně názvu ze synchronizovaného plavání na umělecké plavání (artistic swimming) (FINA Communications Department, 2017). V České republice se však nadále používá termín synchronizované plavání. Obdobně tomu se 12. prosince 2022 FINA (Fédération Internationale de Natation) po 114 letech svého působení stala World Aquatics (FINA Communications Department, 2022).

Synchronizované plavání bylo v minulosti výhradně ženským sportem. Velká změna však přišla roku 2015, kdy bylo mužům povoleno startovat na mistrovství světa. Zásadní zlom nastal poté 22. prosince 2022 v Lausanne, kdy Mezinárodní olympijský výbor dal souhlas, aby World Aquatics umožnilo mužům zúčastnit se Olympijských her v Paříži v roce 2024. Muži mohou soutěžit v týmových sestavách, avšak z celkového počtu osmi závodníků mohou být v týmu zařazeni maximálně dva muži (World Aquatics, 2022).

2.1.2 Charakteristika synchronizovaného plavání

V synchronizovaném plavání je pro dosažení optimální sportovní výkonnosti nezbytné komplexní zvládnutí plaveckých technik a specifických dovedností nutných pro kvalitní provedení předepsaných figur, obrátů a přechodů. Klíčovou roli sehrává i rozvinutá úroveň gymnastických dovedností, smysl pro rytmus a hudebnost a v neposlední řadě umělecký projev (Labudová, 2011).

Onen komplexní trénink přináší nespočet benefitů pro rozvoj celého organismu. Dle Klečkové (1992) můžeme zařadit synchronizované plavání mezi nejzdravější sporty. Důležitou roli hraje systematický, soustavný a pravidelný trénink s postupně se zvyšující fyzickou náročností. To vede k dokonalému zvládnutí pohybu, zlepšení koordinace v neobvyklém vodním prostředí a všestrannému a vyváženému rozvoji organismu. Dochází k symetrickému funkčnímu zvětšení svalstva trupu i končetin, což má pozitivní vliv na růst kostí a podporuje správné držení těla. Významný přínos synchronizovaného plavání se projevuje i v oblasti oběhového

a dýchacího systému, jelikož časté ponoření pod vodu klade velký důraz na optimální fungování obou systémů (Hoch, 1987). Teplotní změny způsobené střídáním pohybu ve vodě a na vzduchu přispívají k rozvoji termoregulačních schopností organismu. Díky odporu vody nedochází k prudkým pohybům končetin, čímž se snižuje riziko poranění kloubů, vazů a svalů (Klečková, 1992).

Synchronizované plavání, i když sdílí s ostatními plaveckými sporty základní principy, je jedinečné v komplexnosti a náročnosti. Základní plavecké dovednosti a všestranný plavecký výcvik jsou bezesporu nezbytnou součástí tréninku každé synchronizované plavkyně. Specifické dovednosti synchronizovaného plavání se následně rozvíjejí nad rámec základního plaveckého výcviku. Mezi ně patří například rozvoj orientace pod vodou a vnímání prostoru. Ekonomický pohyb a cit pro vodu jsou klíčové pro ladnost a estetiku synchronizovaného plavání. Trénink s hudbou rozvíjí smysl pro rytmus a hudební vnímání, čímž se prohlubuje propojení pohybu s melodií. Synchronizované plavání není založeno jen na individuálních výkonech, ale především na silné týmové spolupráci. Akvabely se učí vzájemné důvěře, podpoře, synchronizaci a sladění pohybů. V týmu se rozvíjí disciplína, odpovědnost a smysl pro kolektivní dosažení cíle (Hoch, 1987).

Jedna z velkých předností synchronizovaného plavání taktéž spočívá v nutnosti neustále se učit novým pohybům a vazbám. Soutěžní sestavy se totiž dynamicky mění v závislosti na výkonnosti závodnic a po zhruba dvou letech se kompletně obměňují (Hrbáčová, 2011). Plavkyně si tak rozvíjejí vysokou úroveň pohybové paměti a stávají se adaptabilnějšími k učení nových pohybů než sportovci v jiných disciplínách.

V synchronizovaném plavání jsou závodnice rozděleny do čtyř věkových skupin – mladší žákyně – U12 (12 let a mladší), starší žákyně – Youth (13 až 15 let), juniorky – JUN (15 až 19 let) a seniorky – SEN (15 let a starší). Dle těchto věkových kategorií jsou určeny disciplíny, ve kterých závodnice mohou startovat:

- mladší žákyně, starší žákyně – povinné figury, volné sestavy – sólo, duo, mix duo, tým a kombinované sestavy.
- juniorky, seniorky – technické sestavy – sólo, duo, mix duo, tým; volné sestavy – sólo, duo, mix duo tým a akrobatické sestavy.

Povinné figury jsou technické prvky, které se předvádějí bez hudby před panelem rozhodčích. Figura v synchronizovaném plavání je kombinace základních poloh a plynulých přechodů, provedených striktně v pořadí a předepsaným způsobem dle pravidel World Aquatics v World Aquatics Handbook (World Aquatics, 2022). Provedení figur je hodnoceno dle výšky,

rychlosti, přesnosti poloh a přechodů, napětí těla, stabilitě a plynulosti pohybů (World Aquatics, 2022; Marmet, 2022). V kategorii U12 je celkem 8 figur rozdělených do 4 skupin – 1 závazná a 3 losované. Na závodech závodnice vždy předvádí 4 figury. V kategorii Youth sportovci trénují celkem 12 figur, které jsou rozdělené do 3 sekcí, přičemž každá sekce je rozdělena do dvou skupin. Na závodech předvádějí 2-4 figury. Na obrázku 1 je zobrazen příklad povinné figury, a to konkrétně figury Flamingo Bent Knee patřící do kategorie Youth.

Obrázek 1

Figura – Flamingo Bent Knee, Twist Spin

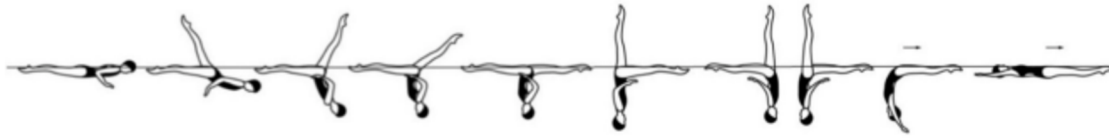


Artistic Swimming Rules – Appendix I – Youth figures (FINA, 2022d)

Sestavy se skládají z hybridů, přechodů, akrobacií a případně technických prvků, které se předvádějí za doprovodu hudby. Hybrid je definován jako kombinace dvou nebo více pohybů prováděných dolními končetinami s úmyslnou apnoe (hlavou dolů, přičemž hlava je pod úrovní boků). Horizontální pohyby po hladině s 1-2 pohyby dolních končetin, které způsobují apnoe (přetáčení, kopání atd.), se považují za přechodové pohyby (World Aquatics, 2024b). Přechody v synchronizovaném plavání hrají klíčovou roli v propojení jednotlivých prvků a zahrnují širokou škálu technik, jako jsou ploutvové pohyby, plavecké způsoby, kombinace baletních nohou, akce s flexibilitou na hladině, změny útvarů na hladině nebo párové asistované akce. Technické sestavy obsahují technické prvky, což jsou přesně definované kombinace pozic a přechodů, které musí být provedeny všemi sportovci (World Aquatics, 2022). Příklad technického prvku technické sólové sestavy je zobrazen na obrázku 2.

Obrázek 2

Technický prvek – Swordfish Straight Leg – Knight



Artistic Swimming Rules – Appendix II – Technical Routines (FINA, 2022c)

2.1.3 Pravidla 2022-2025

V roce 2022 došlo k razantní změně pravidel v synchronizovaném plavání. Mezinárodní plavecká federace (FINA) provedla rozsáhlé reformy synchronizovaného plavání s cílem aktualizovat a zefektivnit systém hodnocení. Dále také udělat tento sport více spravedlivějším a divácky atraktivnějším. Hlavní změny se týkají systému hodnocení a skládání sestav, a to jak v technických, tak i volných disciplínách.

U starších zákyň došlo k nárůstu počtu povinných figur z 8 na 12. V juniorské kategorii jsou povinné figury zrušeny a nahrazeny technickými sestavami, které jsou shodné se seniorskou kategorií. FINA dále zavádí větší flexibilitu do technických sestav, čímž dává trenérům a závodníkům větší prostor pro strategii a kreativitu. Povinné prvky již nemusí být předváděny v předepsaném pořadí, ale jejich zařazení do sestavy je libovolné. Zároveň jsou prvky rozděleny do dvou kategorií dle obtížnosti, přičemž v rámci sestavy lze obtížnosti prvků libovolně kombinovat. Dále je i určen maximální počet volných hybridů a akrobacií.

Oproti tomu u volných sestav jsou vůbec poprvé v historii zařazeny povinně předepsané prvky a je pevně daný počet hybridů a akrobacií. Cílem je zaručit spravedlivější hodnocení, jelikož všechny kategorie budou mít v sestavě stejný počet prvků. V neposlední řadě kombinované sestavy v juniorské a seniorské kategorii byly nahrazeny akrobatickými sestavami (FINA, 2022a; Mlčochová, 2023).

Změnou týkající se rozhodování je to, že výška dané pozice prováděného prvku vůči hladině stanovuje maximální dosažitelné skóre. Rozhodující je průměrná výška v průběhu celého hybridu/figury, od které se dále odčítají nedokonalosti v provedení. Dále nově sestavy nerozhodují tři panely po pěti rozhodčích, ale pouze dva. První panel rozhodčích uděluje známky za provedení elementů. Zde také dochází ke změně, jelikož každému elementu se uděluje samostatná známka. Druhý panel rozhodčích hodnotí umělecký dojem. Tento panel uděluje tři známky, a to za choreografii a muzikálnost, přechody a předvedení neboli celkový umělecký dojem (World Aquatics, 2022).

Největší změnou poté bylo zavedení Coach Card (CC) a Hybrid Declared Difficulty (DD). Coach Card neboli trenérská karta je v nynější době v synchronizovaném plavání klíčovým nástrojem pro choreografy, trenéry a technické kontrolory. Obsahuje detailní informace o sestavě, včetně přesného pořadí hybridů, přechodů a akrobacií, s časovými údaji pro každý prvek. Kromě toho karta obsahuje i detailní rozpis jednotlivých hybridů s jejich obtížností a přesný popis akrobacií. Tímto se synchronizované plavání značně přiblížilo krasobruslení a naprosto se znemožnila jakákoli improvizace, která byla do té doby kupříkladu v sólových sestavách běžná. Hybrid Declared Difficulty neboli deklarovaná obtížnost odráží obtížnost hybridu či akrobacie. Pohyby byly rozděleny do pohybových oblastí a úrovní dle obtížnosti. Pro každou úroveň pohybů v dané kategorii je pak přiřazen její obtížnostní koeficient. Tímto koeficientem jsou pak násobeny známky získané za provedení daného hybridu. DD byl zaveden jako standardizovaný systém pro hodnocení obtížnosti hybridů, který by měl eliminovat neobjektivitu a zajistit spravedlivé hodnocení. V minulosti měli rozhodčí problémy s konzistentním hodnocením obtížnosti hybridů. Často se stávalo, že zaměňovali provedení hybridu s obtížností samotného hybridu, což vedlo k nesprávnému hodnocení sportovců. Systém se skládá z jasně definovaných kritérií, která berou v úvahu složitost pohybů, požadovanou sílu a koordinaci, riskantnost a flexibilitu (World Aquatics, 2022; FINA Artistic Swimming Innovation Group, 2022).

V reakci na zavedení DD vznikla nová pozice – technický kontrolor (TC). Hlavním úkolem technického kontrolora je ověřit, zda všichni plavci v sestavě provedli všechny předepsané pohyby v hybridu či v akrobacii, a to i zda ve správném pořadí. Dalším úkolem TC je i kontrola synchronizace plavců. V případě, že element není proveden tak, jak je uvedeno v CC, je udělen Base Mark (BM) a koeficient obtížnosti daného elementu je snížen na hodnotu 0,5 (World Aquatics, 2022). Kupříkladu pokud je v CC napsáno, že hybrid obsahuje prvky R6, R6, R3, je hodnota koeficientu DD 1,75. R6 může být např. twist (rotace ve stejné výšce) z provazu do vertikální pozice o 360°, R3 pak spin (rotace s plynulým klesáním) o 360°. V případě, že nějaká z rotací není dotočena, byť jen například o 10°, je hodnota DD snížena na BM, tudíž na 0,5 z původních 1,75. Neexistuje zde žádná tolerance odchylek vůči CC. BM byly zavedeny do synchronizovaného plavání také s cílem zvýšit atraktivitu sportu pro diváky. Před zavedením nových pravidel dominovaly v soutěžích pořád ty samé plavkyně a týmy. Důsledkem těchto změn je, že výsledky soutěží se staly mnohem méně předvídatelnými. Na druhou stranu to vytváří neúměrný tlak na závodnice, kdy jedna malá chyba je může stát i desítky bodů.

Negativním dopadem nových pravidel je bezesporu úpadek kreativity sestav. Počet pohybů, které je možné deklarovat, není mnoho, některé pohyby, které byly do té doby značně oblíbené, tam například nejsou vůbec. Tyto faktory značně omezují trenéry při vytváření

choreografií. Dále pak, jelikož je snaha dosáhnout co nejvyšší obtížnosti v co nejkratším čase, sahají trenéři po obtížnějších prvcích, které, když je sportovec úspěšně natrénuje, se pak opakují v každé figuře několikrát. Příkladem může být volná sólová sestava Diany Čípové, která v roce 2024 zvítězila na mistrovství České republiky jak v juniorské, tak v seniorské kategorii. V průběhu sestavy byl proveden prvek R7, konkrétně dvousměrný twist 360°, kdy je nejprve provedena rotace v jednom směru o 180° a poté o 180° v opačném, jednačtyřicetkrát v průběhu 2 minut a 15 sekund v rámci 7 hybridů. Tato tendence k monotónní a stereotypní choreografii byla typická i pro soutěže světové úrovně. V reakci na to došlo v březnu roku 2024 k revizi pravidel a omezení barakud a rotací od úrovně 5 výše na tři dle techniky na hybrid (World Aquatics, 2024b).

2.1.4 Výkon v synchronizovaném plavání

Pro výkon v synchronizovaném plavání je nutné zohlednit i vliv vodního prostředí. Vzhledem k 23násobně vyšší tepelné vodivosti vody oproti vzduchu dochází ve vodě k mnohem rychlejšímu ohřívání a ochlazování tělesného povrchu. Plavání je spojeno s působením hydrostatického tlaku vodního sloupce na povrch těla, jehož velikost se odvíjí od hloubky ponoření. V plicích je v klidové poloze tlak vzduchu shodný s tlakem nad hladinou, tudíž je při nádechu nutné, aby dýchací svaly překonaly vnější tlak vody. Hydrostatický tlak při plavání vede k adaptačním změnám, což dále vede k příznivému ovlivnění ventilačních parametrů organismu, které se projevují zvýšením vitální kapacity plic. Hydrostatický tlak má vliv i na funkce oběhového systému, které se projevují usnadněním žilního návratu krve a podporou centralizace oběhu. S hydrostatickým tlakem, silou působící na ponořené objekty, úzce souvisí hustota těla. Nižší hustota ženského těla představuje fyziologickou výhodu pro plavání. Vitální kapacita plic hraje v tomto kontextu také klíčovou roli, jelikož s nádechem se zvyšuje objem těla a snižuje se jeho hustota, s výdechem dochází k opačnému jevu. Pohyb plavce ve vodě ovlivňují taktéž hydrodynamické síly. Hnací síly, generované končetinami, zajišťují propulsi vpřed, zatímco brzdící síly, způsobené třením a vlnovým a tvarovým odporem, pohyb ztěžují. Odpor těla plavce roste s druhou mocninou rychlosti, zdvojnásobení rychlosti tak vede k čtyřnásobnému nárůstu odporu. Pro vygenerování žádoucí propulsi je klíčová schopnost vnímat tzv. „pocit vody“ při záběrové fázi, která představuje komplexní vlastnost zkušených plavců, jež je podmíněna integrací informací z interoceptorů (poloha a pohyb těla, vynaložené úsilí) a exteroreceptorů (dotyk a teplota vody) (Neuls, Svozil, Viktorjeník, & Dub, 2013).

Plavání je komplexní pohybová aktivita se značnými energetickými nároky. Výkonnost plavce spočívá v transformaci metabolické energie na mechanickou práci. Většina energie se spotřebuje na překonání odporu vody. Energie pro plavání pochází ze tří energetických systémů:

okamžitého (ATP-CP) pro rychlý start a explozivní pohyby, krátkodobého (anaerobní glykolýzy) pro intenzivní plavání a udržení rychlosti a dlouhodobého (oxidativní fosforylace) pro plavání delších tratí a regeneraci. K dosažení maximálního výkonu v plavání je nutná nejen optimální metabolická energie, ale i vysoká plavecká efektivita, která hraje klíčovou roli v celkové energetické náročnosti (Rodríguez & Mader, 2011). Adaptace získané plaveckým tréninkem jsou vytrvalostního charakteru. Patří mezi ně zvýšení celkového objemu krve, erytrocytů a minutového srdečního výdeje. Dále dochází k nárůstu kapilarizace v okolí svalových vláken a koncentrace svalového myoglobinu. V neposlední řadě také k zdokonalení krevní redistribuce, zvětšení mitochondrií a jejich počtu, ke zlepšení plicní difúze pro kyslík a zvýšení aktivity enzymů, které regulují aerobní metabolismus (Neuls et al., 2024).

Oproti plavání je v synchronizovaném plavání kladen větší důraz na technické aspekty této disciplíny, avšak pro zvládnutí náročného tréninkového procesu a fyzické náročnosti závodních sestav je nezbytná i vysoká úroveň tělesné kondice (Pyne & Sharp, 2014). Sportovní výkon v synchronizovaném plavání je podmíněn řadou faktorů, mezi klíčové patří následující schopnosti plavkyň. Vytrvalostní schopnosti, které zahrnují jak všeobecnou vytrvalost pro zvládnutí náročného tréninku a závodu, tak i speciální vytrvalost pro udržení maximálního výkonu v jednotlivých disciplínách. Koordinační schopnosti, a to konkrétně kinesteticko-diferenciační, rovnováhové, rytmické, reakční a orientační. Silové schopnosti převážně končetin a břišního svalstva, především týkající se vytrvalostní síly, výbušné síly a dynamické síly. Flexibilita zejména kloubů ramenních, kyčelních, hlezenních a páteře. A v neposlední řadě pak úroveň techniky a plavecké výkonnosti (Labudová, 2011).

Dalším fyziologickým faktorem ovlivňujícím výkon v synchronizovaném plavání je úroveň aerobní a anaerobní kapacity (Robertson, Benardot, & Mountjoy, 2014). Dle studie (Bentley, Viana, & Logan-Sprenger, 2022) VO_2 peak souvisí s délkou doby strávenou pod vodou. Což může naznačovat, že plavci s větší aerobní kapacitou lépe zvládají sestavy s delším časem pod vodou. Dále prokázali korelaci mezi VO_2 peak a řadou krevních parametrů odrážejících metabolický stav sportovce během sestavy. Zajímavým zjištěním bylo, že VO_2 peak měřené na bicyklovém ergometru se nelišilo od hodnot VO_2 peak získaných po zaplávání sestavy a dále že daná data také korelují s časem stráveným pod vodou a produkcí CO_2 . Výsledky jiné studie (Chatard, Mujika, Chantegraille, & Kostucha, 1999) ukázaly, že metabolická odpověď na provedení týmové sestavy byla ekvivalentní nebo i překonala metabolickou odpověď na plavání 400 m volným způsobem.

V neposlední řadě byla zaznamenána korelace mezi získaným hodnocením a izokinetickou svalovou silou extenzorů a flexorů loketního kloubu, na míře extenze v kolenním kloubu, síle

extenze dolních končetin a rychlosti plavání při nástupu hromadění laktátu v krvi (Yamamura et al., 1999).

V tabulce 1 je uveden vývoj časových limitů volných sestav pro seniorskou kategorii za posledních 40 let. Z hodnot je patrné, že časové limity mají snižující se tendenci. Zatímco dříve týmová sestava trvala 5 minut, v současnosti se pohybuje okolo 3,5 minuty. Toto zkracování časových limitů zapříčiňuje výrazné zvýšení intenzity zatížení během sportovního výkonu.

Tabulka 1

Vývoj časových limitů volných sestav v seniorské kategorii [m:ss]

Volná sestava	Časové období				
	1981–2001 ^a	2002–2008 ^a	2009–2013 ^a	2014–2022 ^b	2023–2025 ^c
Sólo	3:30	3:00	3:00	2:30	2:15
Duo	4:00	3:30	3:30	3:00	2:45
Tým	5:00	4:00	4:00	4:00	3:30
Kombinovaná sestava	–	5:00	4:30	4:00	–

^a(Štekerová, 2012); ^b(FINA, 2013, 2017); ^c(FINA, 2022a)

Kombinace zadržování dechu a intenzivní pohybové aktivity značně zvyšuje fyziologickou náročnost tohoto sportu. V důsledků těchto aspektů se sportovci potýkají s omezenou výměnou plynů, což zapříčiňuje, že většina potřebné energie během apnoe musí být získána za snížené dostupnosti kyslíku a současného hromadění CO₂ (Davies, Donaldson, & Joels, 1995; Viana et al., 2019). Jedním z nejvýraznějších adaptačních mechanismů je utlumená ventilační odpověď na hypoxii a bradykardická odpověď, která se projevuje zpomalováním srdeční frekvence v reakci na dlouhé apnoické pauzy, kdy plavkyně zadržují dech a provádějí náročné pohyby (Viana et al., 2019).

Čas strávený pod vodou hraje klíčovou roli v hodnocení a celkové kvalitě výkonu v synchronizovaném plavání. Znatelně lepších hodnocení dosahují sportovci, kteří povinné figury provádějí pomalu a plynule (Davies et al., 1995). Dle studie Davies et al. (1995) existuje jasná korelace mezi časem stráveným nepřetržitě pod vodou a získaným hodnocením. Obdobně je tomu u sestav, kdy delší doba pod vodou je nutná pro dosažení konkurenceschopné obtížnosti. Z toho vyplývá, že sestavy mohou obsahovat poměrně dlouhé úseky, kdy sportovci musí zadržovat dech, zatímco provádějí intenzivní fyzickou aktivitu, což může vést k rozvoji hypoxie (Davies et al., 1995; Viana et al., 2019).

Mezi adaptace získané tréninkem synchronizovaného plavání se řadí zvýšení vitální kapacity plic, celkové plicní kapacity, inspirační kapacity a jednovteřinové vitální kapacity (Viana et al., 2019). Dále byla prokázána významná korelace mezi výsledkem získaným v soutěži a usilovnou vitální kapacitou sportovce (Gabrilo, Peric, & Stipic, 2011).

V roce 2022 došlo v synchronizovaném plavání k významné změně pravidel, která se týkala i hodnocení času stráveného pod vodou. Tato změna zavedla rozdělení času stráveného pod vodou v rámci hybridu do tří úrovní (Tabulka 2). Přičemž čím byla apnoe delší, tím vyšší byl přidělený koeficient obtížnosti. Apnoe je měřena od nádechu před zahájením hybridu až do prvního nádechu na hladině po dokončení hybridu (FINA Artistic Swimming Innovation Group, 2022). Toto pravidlo společně s tlakem na vysokou obtížnost hybridů vedlo k neúměrným časům stráveným pod vodou a tím nepřímo ke snížení uměleckého dojmu, jelikož čas nad vodou byl využit převážně jen ke splnění požadovaného počtu hybridů. Příkladem může být sólová sestava Romane Temessek, která zvítězila na mistrovství světa v kategorii Youth v roce 2023. Z celkového času sestavy, který činil 2 minuty, byla Romane pod vodou více než minutu a čtyřicet sekund.

Tabulka 2

Rozdělení apnoe během hybridů

Level	Čas pod vodou	Base Mark
TU1	6 sekund a méně	0,05
TU2	7-15 sekund	0,1
TU3	16 sekund a více	0,2

Introductory guide for the application of declared difficulty (FINA Artistic Swimming Innovation Group, 2022)

V reakci na to došlo k aktualizaci pravidel a v březnu 2024 byl vydán dodatek týkající se délky apnoe. Nově byl stanoven maximální časový limit apnoe pro volné hybridy, přičemž pokud tento limit bude splněn, získá závodník bonus 40 bodů, které se přičtou k celkovému skóre sestavy. Tento bonus má přispět k návratu umělecké stránky tohoto sportu, která od zavedení nových pravidel ustoupila do pozadí na úkor obtížnosti. V tabulce 3 jsou uvedeny časové limity jednotlivých sestav s počty elementů a maximální apnoí. Povolena tolerance časového limitu sestav je ± 5 vteřin. Do apnoe limitu se započítává pouze čas strávený pod vodou při provádění volných hybridů. Technické prvky a akrobacie do tohoto limitu nespádají. Pro seniorskou kategorii platí stejné časové limity sestav jako pro juniorskou, avšak časové limity apnoe budou stanoveny až pro rok 2025, po analýze sestav z předchozího roku. Na mistrovství Evropy

v kategorii Youth v roce 2024 obdrželo apnoe bonus 12 sólových sestav z 20, přičemž deset z nich obsadilo prvních deset míst.

Tabulka 3

Apnoe maximum jednotlivých sestav

Kategorie Disciplína	Časový limit sestavy ^a [m:ss]	Apnoe maximum ^b		Počet elementů ^c	
		% časového limitu	Čas [m:ss]	Hybridy	Akrobacie
U12					
Sólo	2:00	50	1:00	5	–
Duo	2:30	50	1:15	5	1
Mix duo	2:30	50	1:15	5	1
Tým	3:00	50	1:30	6	3
Kombinovaná sestava	3:00	50	1:30	5	3
Youth					
Sólo	2:00	58	1:10	6	–
Duo	2:30	50	1:15	6	1
Mix duo	2:30	50	1:15	5	2
Tým	3:00	50	1:30	6	3
Kombinovaná sestava	3:00	50	1:30	5	4
JUN					
<i>Technické sestavy</i>					
Sólo	2:00	25	0:30	2 + (5) ^d	–
Duo	2:20	25	0:35	2 + (5) ^d	1
Mix duo	2:20	25	0:35	2 + (5) ^d	1
Tým	2:50	32	0:55	3 + (5) ^d	1
<i>Volné sestavy</i>					
Sólo	2:15	63	1:25	7	–
Duo	2:45	57,5	1:35	7	2
Mix duo	2:45	55	1:30	6	3
Tým	3:30	57	2:00	7	4
Akrobatická sestava	3:00	–	–	–	7

^a(FINA, 2022a), ^b(World Aquatics, 2024a), ^c(FINA, 2022b)

^dPočet technických prvků

2.2 Dechové funkce

Dýchací systém hraje v organismu klíčovou roli a zajišťuje širokou škálu životně důležitých funkcí. Jeho nejdůležitějším úkolem je zevní respirace, která zahrnuje příjem kyslíku z atmosféry a odvod oxidu uhličitého z organismu (Jandová & Marešová, 2010). Vdechovaný vzduch obsahuje přibližně 21 % kyslíku a 0,03 % oxidu uhličitého. Vydechovaný (alveolární) vzduch pak 14 % kyslíku a 5 % oxidu uhličitého. Kyslík slouží v organismu primárně k energetickým účelům, přičemž se účastní rozkladu živin a tvorby ATP (Slavíková & Švíglerová, 2014).

Přerušení přívodu kyslíku i na krátkou dobu může mít vážné následky, jelikož zásoby kyslíku v organismu jsou omezené. Celkové zásoby kyslíku v organismu zahrnují kyslík v respiračních bronchiolech a alveolech, kyslík v krvi vázaný na hemoglobin a rozpuštěný v tkáních. Po klidném výdechu činí tyto zásoby přibližně 1 litr a po hlubokém nádechu se navýší na 2 litry. Při klidové spotřebě kyslíku 250 ml za minutu tato zásobní kapacita umožňuje organismu přežít bez přísunu kyslíku zvenčí po dobu 4 až 7 minut (Slavíková & Švíglerová, 2014).

2.2.1 Mechanika a regulace dýchání

Hlavním svalem zajišťujícím dýchání je bránice (Botek, Neuls, Klimešová, & Vyhnánek, 2017). Ta se společně se zevními mezižeberními svaly kontrahuje jak při klidném, tak usilovném dýchání. Mezi nádechové (inspirační) svaly se řadí bránice, zevní mezižeberní svaly a pomocné inspirační svaly, jež se uplatňují při svalové práci. Výdech je dějem pasivním a dochází k němu relaxací nádechových svalů. V případě usilovného výdechu dochází ke kontrakci vnitřních mezižeberních svalů a svalů břišní stěny (Slavíková & Švíglerová, 2014).

Proces dýchání lze rozdělit do 3 fází. Prvním krokem je plicní ventilace, která zajišťuje výměnu plynů mezi zevní atmosférou a plicemi, konkrétně alveolární membránou. Mechanismus ventilace je založen na změnách objemu hrudníku a plic v průběhu dechového cyklu. Při tomto procesu se vzduch nejen vyměňuje, ale také se ohřívá a zvlhčuje. Proudění vzduchu se uskutečňuje vždy podle tlakového gradientu, což je dáno rozdílem mezi atmosférickým tlakem a tlakem intraalveolárním. Výměna plynů neprobíhá v celých plicích, a to z morfologických důvodů v anatomickém mrtvém prostoru a z funkčních důvodů v alveolech s nedostatečným prokrvením (funkční mrtvý prostor) (Botek et al., 2017; Brožek, Herget, & Vizek, 1999; Slavíková & Švíglerová, 2014).

Další krok zahrnuje výměnu kyslíku a oxidu uhličitého mezi alveoly a kapilární krví na respirační (alveolokapilární) membráně řízenou rozdíly v parciálních tlacích plynů (pO_2 a pCO_2) na obou stranách membrány (Botek et al., 2017; Brožek et al., 1999; Slavíková & Švíglerová, 2014). Během nádechu dochází k difuzi vdechovaného vzduchu s vyšším pO_2 přes membránu

plic do kapilární krve s nižším pO_2 . Oxid uhličitý difunduje dle stejného principu opačným směrem. Posledním krokem je respirace neboli vnitřní dýchání zahrnující výměnu kyslíku a oxidu uhličitého mezi krví a tkáněmi (Botek et al., 2017; Slavíková & Švíglerová, 2014).

Transport plynů v organismu probíhá na principu reverzibilní vazby na hemoglobin v erythrocytech. Hemoglobin je tetramerní metaloprotein, složený ze čtyř podjednotek. Každá podjednotka hemoglobinu je složena z globinu, bílkovinné části, a hemu, prostetické skupiny. Hem je složen z porfyrinového kruhu s centrálně koordinovaným atomem železa. Hemová skupina, s dvojmocným iontem železa (Fe^{2+}), umožňuje reverzibilní vazbu jedné molekuly kyslíku za vzniku oxyhemoglobinu. Čtyři hemové skupiny v tetramerním hemoglobinu tak dokáží vázat až čtyři molekuly kyslíku (Botek et al., 2017; Storz, 2016). Při vazbě kyslíku na hemoglobin dochází k uplatnění alosterického efektu, kdy navázání první molekuly usnadňuje vazbu dalších. To znamená, že vazba první molekuly kyslíku na jeden z řetězců globinu vyvolá konformační změnu, která se přenesou i na druhý řetězec. Díky této změně má hem s navázanou první molekulou kyslíku vyšší afinitu k dalším molekulám kyslíku. Jeden gram hemoglobinu je schopný navázat až 1,34 ml kyslíku (Slavíková & Švíglerová, 2014).

Množství chemicky vázaného kyslíku je podmíněno koncentrací hemoglobinu v krvi a stupněm saturace hemoglobinu. Saturace hemoglobinu udává procentuální podíl nasycení arteriální krve kyslíkem. Saturace indikuje, zda jsou vazebná místa hemoglobinu pro kyslík plně obsazena či nikoliv a primárně se určuje z pO_2 krve. Vazbu kyslíku na hemoglobin a její změny lze znázornit pomocí tzv. disociační křivky. Tato křivka zobrazuje závislost saturace hemoglobinu kyslíkem na parciálním tlaku kyslíku. Pravostranný posun disociační křivky značí pokles afinity hemoglobinu ke kyslíku a usnadňuje tak uvolňování kyslíku z vazby. Tento posun zapříčiňuje například pokles pH v důsledku zvýšené koncentrace vodíkových iontů v krvi způsobené buněčným metabolismem. Stejný efekt má i nárůst parciálního tlaku oxidu uhličitého v krvi. Vliv změn koncentrace oxidu uhličitého a vodíkových iontů na disociační křivku hemoglobinu se nazývá Bohrův efekt. Dalším faktorem způsobujícím posun křivky je nárůst teploty. Svalová činnost vede ke zvýšení teploty, což usnadňuje uvolňování kyslíku z hemoglobinu v krvi protékající svalovými kapilárami. V neposlední řadě disociační křivku ovlivňuje nárůst koncentrace 2,3-difosfoglycerátu (DPG) v erythrocytech, který vzniká v procesu anaerobní glykolýzy. Vazba DPG na globin je zásadní při hypoxii, kdy se koncentrace DPG zvyšuje a napomáhá uvolňování kyslíku do tkání. V malém množství je kyslík transportován v krvi ve fyzikálně rozpuštěné formě (Botek et al., 2017; Slavíková & Švíglerová, 2014).

Regulace dýchání probíhá dvojím způsobem, a to na nervové a humorální úrovni. Za vznik respiračního rytmu jsou zodpovědné neurony v prodloužené míše (Brožek et al., 1999). Respirační neurony se dělí na inspirační a expirační. Expirační neurony se aktivují pouze při

usilovném dýchání. Pontinní respirační neurony ovlivňují plynulé střídání a trvání vdechu a výdechu (Slavíková & Švíglerová, 2014).

Centrální chemoreceptory jsou stimulovány především vzestupem $p\text{CO}_2$ v arteriální krvi, který oproti H^+ iontům snadno difunduje přes hematoencefalickou bariéru. V cerebrospinální tekutině dochází k hydrataci CO_2 a vzniku kyseliny uhličitě za katalýzy karboanhydrázou. Kyselina uhličitá následně disociuje na vodíkové a bikarbonátové ionty, přičemž H^+ ionty stimulují neurony chemosenzitivní oblasti. To má za následek zvýšení plicní ventilace, která může vzrůst až na 30násobek klidové hodnoty (ze 7 l/min na 200 l/min). Zvýšení alveolární ventilace nastává již během několika sekund po nárůstu parciálního tlaku oxidu uhličitého v krvi. V případě přetrvávající hyperkapnie tento efekt setrvává po dobu několika hodin, avšak v průběhu 1-2 dnů dochází k postupnému snižování alveolární ventilace (Slavíková & Švíglerová, 2014).

Proprioreceptory svalů a kloubů se taktéž podílí na regulaci dýchání a zajišťují jeho optimální fungování během pohybové aktivity. Jejich stimulace ovlivňuje činnost respiračních neuronů v mozковém kmeni, čímž přispívá ke zvýšení plicní ventilace v reakci na svalovou práci. Na základě zpětnovazebné regulace aferentace, přicházející z proprioreceptorů inspiračních svalů, dochází k přizpůsobení síly kontrakce dýchacích svalů odporu dýchacích cest a hrudníku a tím k zajištění potřebného dechového objemu (Brožek et al., 1999; Slavíková & Švíglerová, 2014).

V neposlední řadě při zvýšení krevního tlaku dochází k inhibici dýchání v důsledku aktivace baroreceptorů v krevním řečišti. Oproti tomu nárůst tělesné teploty stimuluje dýchání, a to i nepřímo v důsledku urychlení metabolismu. Dýchání lze také ovlivnit vůlí, avšak jen do chvíle, než dojde významnějším odchylkám koncentrace vodíkových iontů a parciálních tlaků kyslíku a oxidu uhličitého v arteriální krvi. Volní kontrola dýchání je poté nahrazena automatickou (Brožek et al., 1999; Slavíková & Švíglerová, 2014).

2.2.2 Reakce a adaptace dýchacího systému na zátěž

Na počátku fyzické zátěže dochází ke zvýšení minutové plicní ventilace v důsledku aktivace sympatoadrenálního systému a narůstající poptávky pracujících svalů na zvýšený přísun O_2 a odvod CO_2 . Nárůst minutové ventilace je způsoben prohloubením dýchání a také zejména zrychlením dechové frekvence (Botek et al., 2017; Lehnert et al., 2014). Maximální hodnoty dechové frekvence se pohybují okolo 40 dechů/min (Bernaciková, 2012). Při dosažení anaerobního prahu (ANP) dochází k vzestupu koncentrace vodíkových iontů v důsledku zvýšeného příspěvku anaerobní glykolýzy na resyntéze ATP. Zvýšená koncentrace vodíkových iontů zapříčiňuje narušení acidobazické rovnováhy z důvodu poklesu pH. Pufrovací systémy

v reakci na acidózu kompenzují pokles pH zvýšením $p\text{CO}_2$ v krvi a tím udržují acidobazickou rovnováhu. Aktivace centrálních chemoreceptorů vzestupem $p\text{CO}_2$ stimuluje dýchací centrum a vede k hyperventilaci neboli zvýšené plicní ventilaci, na které se nejvýrazněji podílí zvýšení dechové frekvence. Nepoměr mezi nárůstem minutové ventilace vůči spotřebě kyslíku a intenzitě zatížení zvyšuje hodnotu ventilačního ekvivalentu pro kyslík až nad 35 l, což indikuje zhoršení efektivity dýchání během náročné svalové práce. Při maximálním zatížení je z důvodu vysoké dechové frekvence využíváno častokrát zhruba 60 % vitální kapacity plic (Botek et al., 2017; Lehnert et al., 2014). Zvýšená produkce oxidu uhličitého, vodíkových iontů, tepla a pokles $p\text{O}_2$ během svalové práce zapříčiňuje snížení afinity hemoglobinu ke kyslíku a tím usnadňuje jeho uvolňování (Slavíková & Švíglerová, 2014).

Dlouhodobý a systematický trénink vytrvalostního charakteru vede u trénovaných jedinců k adaptaci dýchacího systému, která se projevuje snížením dechové práce při stejném zatížení ve srovnání s netrénovanými osobami. Mezi funkční změny vyvolané tréninkem můžeme zařadit zvýšení hodnoty klidového dechového objemu na 1 l. Při zátěži se hodnota pohybuje až okolo 4 l. Další změnou je snížení klidové dechové frekvence, která se může pohybovat díky zvýšení dechového objemu až pod 10 dechů/min. Oproti tomu maximální hodnoty mohou dosahovat až 60 dechů/min. Dále hodnoty minutové ventilace se mohou zvýšit až na 180 l/min. Zvyšuje se také vitální kapacita plic až na 6 l. U plavců byly zaznamenány hodnoty dosahující i 8 l, důvodem je vyšší odpor při vydechování do vody a také zejména posílení nádechových svalů při nádechu proti hydrostatickému tlaku. Zde je nutné uvést i pojem arteriovenózní difference kyslíku $(a-v)\text{O}_2$, která udává rozdíl v nasycení arteriální a venózní krve O_2 . Hodnota $(a-v)\text{O}_2$ vyjadřuje míru extrakce kyslíku periferními tkáněmi. Při plné saturaci je 100 ml krve schopno navázat 20 ml kyslíku, přičemž pracující sval využívá jen část a nevyužitý kyslík se vrací zpět do srdce. Hodnota $(a-v)\text{O}_2$ činí 5 ml O_2 /100 ml krve v klidových podmínkách a 16-17 ml O_2 /100 ml krve při maximální intenzitě. Dále pravidelný trénink vede k nárůstu síly a zlepšení celkové výkonnosti dýchacích svalů. A v neposlední řadě ke zvýšení rychlosti difúze kyslíku z plic do krve díky vyšší propustnosti alveolokapilární membrány (Bernaciková, 2012; Botek et al., 2017).

2.2.3 Dýchání ve vodním prostředí

V důsledku odlišné mechaniky dýchání způsobené relativní hypoventilací, jsou při plavání pozorovány nižší hodnoty ventilačního ekvivalentu pro kyslík (Neuls et al., 2024). Hypoventilace nastává při mělkém a zpomaleném dýchání, v důsledku čehož dochází k nedostatečnému okysličování organismu, což vede ke zvýšení alveolárního $p\text{CO}_2$ (Slavíková & Švíglerová, 2014).

Při zanoření pod vodu se uplatňuje takzvaný diving reflex neboli ponořovací reflex. Diving reflex je popisován jako soubor fyziologických změn na zadržení dechu pod vodou, zaměřených na zachování životně důležitých funkcí v podmínkách omezeného příjmu kyslíku. Diving reflex představuje dočasné potlačení běžných homeostatických mechanismů v zájmu zachování kyslíku pro kritické orgány. Přičemž k aktivaci tohoto reflexu dochází při zadržení dechu a kontaktu obličeje a nosu s vodou. V okamžiku ponoru dochází ke spuštění specifických fyziologických odpovědí aktivací sensorických receptorů trojklanného nervu, jenž přenáší sensorické informace do mozkového kmene. Reakce sympatické větve autonomního nervového systému a vagu spočívá především v ovlivnění kardiovaskulárního systému s cílem snížit spotřebu kyslíku a tím prodloužit dobu ponoru. Jedná se především o bradykardii, přičemž srdeční frekvence je zpomalena o 10-25 % (Godek & Freeman, 2022; Gooden, 1994; Neuls et al., 2024). Za bradykardii lze považovat hodnoty tepové frekvence nižší než 60 tepů/min (Ganong, 2005). Dále dochází ke značné periferní vazokonstrikci, což vede k redistribuci krve k orgánům zajišťujícím vitální funkce. Důležitou roli hrají také chemoreceptory v karotických tělískách, které reagují především na koncentraci kyslíku v krvi. Do určité míry se dále snižuje spotřeba kyslíku a zpomaluje metabolismus s klesající teplotou a zvětšující se hloubkou ponoru (Godek & Freeman, 2022; Gooden, 1994; Neuls et al., 2024).

Pobyt pod vodou je umožněn volným zadržením dechu neboli apnoí (Neuls et al., 2024). Apnoická pauza nastává již po 10 sekundách zástavy dechu (Lukáš & Žák, 2022). Délka apnoe je závislá jednak na spotřebě kyslíku, jež se značně zvyšuje s rostoucí intenzitou zatížení, tak zvláště na koncentraci oxidu uhličitého, který stimuluje v dýchacím centru nutkání nádechu. Oxid uhličitý vzniká v těle metabolickými pochody, přičemž dochází k jeho kumulaci. Apnoická pauza je možná až do bodu zlomu, kdy $p\text{CO}_2$ v krvi dosáhne nad kritickou mez 6,6 kPa. Zvýšení koncentrace CO_2 a jeho retence v organismu je označována jako hyperkapnie a vede k respirační acidóze z důvodu poklesu pH. Krátkodobou hyperventilací před ponořením lze oddálit bod zlomu díky snížení $p\text{CO}_2$. Samotná hyperventilace však nevede k výraznému zvýšení koncentrace kyslíku v organismu, leč k vydýchání oxidu uhličitého, což způsobuje pokles dráždivosti dýchacího centra. Snížení koncentrace CO_2 způsobuje hypokapnii, která zapříčiňuje vazokonstrikci mimo jiné i mozkových cév, což vede ke zmatenosti, ztrátě orientace či závratím. Zmíněné symptomy výrazně zvyšují riziko, které může v krajním případě vyústit až v utonutí. Rovněž kriticky nízké hodnoty kyslíku v krvi mohou způsobit ztrátu vědomí (blackout/posthyperventilační hypoxická synkopa). Hypoxie označuje stav nedostatku kyslíku v organismu či v jednotlivých tkáních. Přičemž nejcitlivějším na nedostatek kyslíku je mozek. V průběhu vynoření riziko ztráty vědomí dokonce vzrůstá v důsledku difúze kyslíku z krve do plic, což je zapříčiněno téměř nulovým parciálním tlakem kyslíku. Toto riziko hrozí i u opakovaných

ponorů, kdy interval odpočinku není dostatečně dlouhý pro znovunasyčení tkání kyslíkem (Neuls et al., 2024; Slavíková & Švíglerová, 2014).

2.3 Spirometrie

Spirometrie je základní vyšetřovací metoda plicní ventilace. Tato metoda je klíčová pro screening a diagnostiku funkce plic. Během vyšetření se pomocí spirometru zaznamenávají změny objemu vdechovaného a vydechovaného vzduchu. Tyto změny jsou stanoveny z průtokové křivky. Moderní spirometry fungují na principu průtokových spirometrů, které registrují rychlost proudění vzduchu. Spirometrie umožňuje nejen zjistit základní statické ventilační hodnoty, ale také posoudit funkční zdatnost dýchacího systému. To se provádí stanovením dynamických ventilačních parametrů. Statické a dynamické objemy a kapacity plic se liší v závislosti na pohlaví, věku, hmotnosti a povrchu těla (Hrušková et al., 2021; Slavíková & Švíglerová, 2014).

2.3.1 Plicní objemy a kapacity

Plicní objemy představují objemy prostorů v plicích, které zabírá vzduch během dýchání. Kombinace jednotlivých plicních objemů tvoří plicní kapacity, které slouží jako důležité ukazatele funkce plic. Spirometrické parametry se dělí na statické a dynamické. Statické parametry poskytují informace o případných restričních poruchách plicní funkce, dynamické parametry pak o obstrukčních poruchách (Plutinský, 2020).

Statické plicní objemy (Brožek et al., 1999; Slavíková & Švíglerová, 2014):

- Dechový objem (V_T) představuje objem vzduchu, který vdechneme nebo vydechneme při jednom klidném dechu. Jeho hodnota činí 500 ml.
- Inspirační rezervní objem (IRV) představuje objem vzduchu, který je možný vdechnout maximálním volným úsilím po klidném nádechu. Hodnota IRV činí přibližně 3-3,3 l.
- Expirační rezervní objem (ERV) představuje objem vzduchu, který je možný vydechnout maximálním volným úsilím po klidném výdechu. Hodnota ERV činí přibližně 1 l.
- Reziiduální objem (RV) představuje objem vzduchu, který nelze vydechnout a jež zůstává v plicích i po maximálním výdechu. Hodnota RV činí přibližně 1,2 l a nelze ji stanovit spirometrickým vyšetřením.

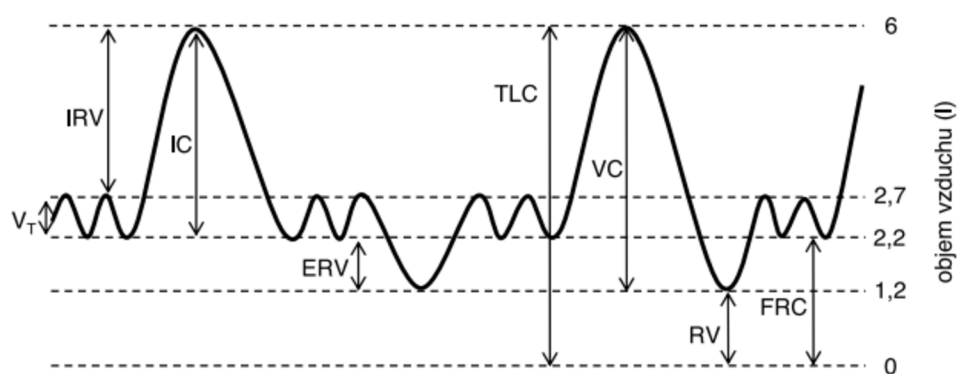
Statické plicní kapacity (Brožek et al., 1999; Slavíková & Švíglerová, 2014):

- Inspirační kapacita (IC) představuje objem vzduchu vdechnutého maximálním volným úsilím po klidném výdechu. IC je složena z dechového objemu a inspiračního rezervního objemu. Hodnota IC činí 3,5-3,8 l.
- Funkční reziduální kapacita (FRC) představuje objem vzduchu, jenž zůstává v plicích po klidném výdechu. FRC se skládá z expiračního rezervního objemu a reziduálního objemu. Hodnota FRC činí přibližně 2,2-3 l.
- Vitální kapacita (VC) představuje objem vzduchu, jenž je možné maximálně vydechnout po maximálním nádechu. VC se skládá z dechového objemu, inspiračního rezervního objemu a expiračního rezervního objemu. Hodnota VC činí 4,5-4,8 l.
- Celková plicní kapacita (TLC) představuje objem vzduchu, jež je v plicích po maximálním nádechu. TLC se skládá ze všech zmíněných objemů. Hodnota TLC činí 6 l.

Na obrázku 3 jsou graficky znázorněny plicní objemy a plicní kapacity. Prezentované hodnoty platí pro mužskou populaci. Hodnoty u žen jsou nižší o 20-25 %.

Obrázek 3

Plicní objemy a kapacity



Fyziologie dýchání (Slavíková & Švíglerová, 2014)

Dynamické ventilační parametry (Brožek et al., 1999; Plutinský, 2020; Slavíková & Švíglerová, 2014):

- Dechová frekvence (DF) představuje počet nádechů za 1 minutu. V klidu DF činí 12-16 dechů/min.

- Minutová ventilace plic (VE) představuje množství vzduchu ventilovaného v klidových podmínkách v průběhu 1 minuty. VE je rovna součinu dechového objemu a dechové frekvence. Hodnota v klidu je rovna 6-8 l/min. Přibližně z 6 l proventilovaného vzduchu v klidových podmínkách zůstávají v organismu zhruba 4 % kyslíku.
- Ventilační ekvivalent kyslíku (VE/VO₂) představuje množství vzduchu, které je nutné za minutu proventilovat, aby byl získán 1 litr kyslíku. Jedná se o poměr mezi minutovou ventilací (VE) a spotřebou kyslíku (VO₂). Tato hodnota slouží jako ukazatel efektivity dýchání. Hodnota ventilačního parametru se u zdravých osob pohybuje okolo 24 l.
- Maximální minutová ventilace (MMV) představuje největší možnou minutovou výměnu dýchacích plynů, které je dosaženo při maximálním volném úsilí. MMV u netrénovaných jedinců činí 120 l/min, přičemž při hodnotách MMV 40-50 l/min dýchá již jedinec s otevřenými ústy. U trénovaných jedinců mohou hodnoty vzrůst až na 180 l/min.
- Usilovná vitální kapacita (FVC) představuje objem vzduchu, který lze po maximálním nádechu vydechnout maximálním úsilím a rychlostí. U zdravého člověka by FVC měla dosahovat přibližně stejných hodnot jako statická vitální kapacita.
- Jednovteřinová vitální kapacita (FEV1) představuje objem vzduchu, který lze po maximálním nádechu vydechnout maximálním úsilím a rychlostí za první sekundu výdechu.
- Tiffeneauův index (FEV1/VC%) představuje podíl jednovteřinové vitální kapacity na vitální kapacitě. Fyziologická hodnota se pohybuje okolo 80 % (Ponce, Sankari & Sharma, 2023).
- Usilovné výdechové průtoky (FEF) představují objem vzduchu, který lze po maximálním nádechu vydechnout maximálním úsilím za první sekundu výdechu. Stanovuje se v rozsahu 25-75 % FVC. Snížení hodnoty FEF25-75 může indikovat obstrukci dýchacích cest.
- Vrcholový výdechový průtok (PEF) představuje nejvyšší průtok na vrcholu dosahovaný během usilovného výdechu. Tento parametr je vysoce závislý na vynaloženém úsilí (Kociánová, 2017).
- Vrcholový nádechový průtok (PIF) představuje nejvyšší průtok na vrcholu dosahovaný během usilovného nádechu.

3 CÍLE

3.1 Hlavní cíl

Cílem této bakalářské práce je zjištění spirometrických parametrů u souboru synchronizovaných plavkyň. Konkrétně se práce zaměřuje na posouzení rozdílů v hodnotách usilovné vitální kapacity plic, jednovteřinové vitální kapacity, Tiffeneauova indexu a vrcholového výdechového průtoku mezi jednotlivými věkovými kategoriemi.

3.2 Dílčí cíle

- 1) Realizace spirometrického vyšetření u účastnic studie.
- 2) Statistická analýza naměřených dat.
- 3) Porovnání naměřených dat v rámci jednotlivých věkových kategorií.
- 4) Komparace naměřených hodnot s dalšími studii.

3.3 Výzkumné otázky

- 1) Do jaké míry se budou lišit jednotlivé věkové kategorie v měřených parametrech?
- 2) Jaké budou rozdíly v získaných hodnotách ventilačních parametrů ve srovnání s fyziologickými hodnotami běžné populace?

4 METODIKA

4.1 Výzkumný soubor

Výzkumný soubor tvořilo celkem 68 synchronizovaných plavkyň ve věku 7 až 20 let. Sběr dat probíhal v oddílech synchronizovaného plavání VSK Univerzita Brno a Klubu plaveckých sportů policie Kometa Brno. Měření účastnice podstupovaly dobrovolně. Před samotným měřením účastnice či jejich zákonní zástupci podepsali informovaný souhlas (příloha 2). Zvolená diagnostika je v souladu s metodami testování schválenými etickou komisí FTK UP v Olomouci (příloha 3).

Děvčata byla rozdělena do pěti věkových kategorií dle kategorizace v synchronizovaném plavání. Z důvodu nízkého počtu probandů a maximálního věku plavkyň 20 let v seniorské kategorii, byly kategorie JUN a SEN pro další zpracování dat spojeny.

1. Žákyně – $n = 5$ (zařazena děvčata ve věku 8 let a mladší),
2. U12 – $n = 23$ (9–12 let),
3. Youth – $n = 22$ (13–15 let),
4. JUN, SEN – $n = 18$; $n = 15$ (16–19 let), $n = 3$ (20 let a starší).

V tabulce 4 je obsažena somatická charakteristika celého výzkumného souboru. V tabulkách 5, 6, 7 a 8 jsou pak zobrazeny somatické charakteristiky pro jednotlivé kategorie.

Tabulka 4

Somatická charakteristika výzkumného souboru ($n = 68$)

	M	SD
Výška [cm]	153,96	14,56
Hmotnost [kg]	46,46	12,78
BMI	19,23	3,03

Poznámka. M = aritmetický průměr; SD = směrodatná odchylka; BMI – body mass index.

Tabulka 5

Somatická charakteristika výzkumného souboru – kategorie 1 (n = 5)

	M	SD
Výška [cm]	126,00	5,43
Hmotnost [kg]	27,00	5,70
BMI	16,96	3,15

Poznámka. M = aritmetický průměr; SD = směrodatná odchylka; BMI – body mass index.

Tabulka 6

Somatická charakteristika výzkumného souboru – kategorie 2 (n = 23)

	M	SD
Výška [cm]	142,78	8,61
Hmotnost [kg]	36,96	7,88
BMI	17,90	2,23

Poznámka. M = aritmetický průměr; SD = směrodatná odchylka; BMI – body mass index.

Tabulka 7

Somatická charakteristika výzkumného souboru – kategorie 3 (n = 22)

	M	SD
Výška [cm]	160,86	7,07
Hmotnost [kg]	51,27	9,53
BMI	19,84	3,69

Poznámka. M = aritmetický průměr; SD = směrodatná odchylka; BMI – body mass index.

Tabulka 8

Somatická charakteristika výzkumného souboru – kategorie 4 (n = 18)

	M	SD
Výška [cm]	167,56	3,85
Hmotnost [kg]	58,11	6,05
BMI	20,81	1,87

Poznámka. M = aritmetický průměr; SD = směrodatná odchylka; BMI – body mass index.

Dále je nutné zohlednit i počet let absolvovaného specializovaného tréninku a týdenní hodinovou dotaci tréninkových jednotek v jednotlivých sezónách za poslední tři roky. Přičemž

pro větší specifikaci bylo rozlišováno mezi tréninkovými jednotkami probíhajícími ve vodě a suchou přípravou. V tabulce 9 jsou obsažena data průměrných týdenních hodinových dotací tréninkových jednotek a počtu let specializovaného tréninku celého výzkumného souboru. V tabulkách 10, 11, 12 a 13 jsou pak zobrazeny průměry získaných dat pro jednotlivé kategorie.

Tabulka 9

Délka specializovaného tréninku a týdenní hodinová dotace – celý soubor (n = 68)

	M	SD
PČ [roky]	4,90	3,66
MP 2023/2024 [h]	6,87	2,64
MP 2022/2023 [h]	5,26	3,00
MP 2021/2022 [h]	4,57	3,72
SP 2023/2024 [h]	1,07	0,60
SP 2022/2023 [h]	1,09	0,84
SP 2021/2022 [h]	0,76	0,77

Poznámka. M = aritmetický průměr; SD = směrodatná odchylka; PČ = počet let specializovaného tréninku; MP = mokrá příprava – týdenní hodinová dotace; SP = suchá příprava – týdenní hodinová dotace.

Tabulka 10

Délka specializovaného tréninku a týdenní hodinová dotace – kategorie 1 (n = 5)

	M	SD
PČ [roky]	1,62	1,24
MP 2023/2024 [h]	2,40	0,89
MP 2022/2023 [h]	1,20	1,10
MP 2021/2022 [h]	0,40	0,89
SP 2023/2024 [h]	0,70	0,67
SP 2022/2023 [h]	0,20	0,45
SP 2021/2022 [h]	0,00	0,00

Poznámka. M = aritmetický průměr; SD = směrodatná odchylka; PČ = počet let specializovaného tréninku; MP = mokrá příprava – týdenní hodinová dotace; SP = suchá příprava – týdenní hodinová dotace.

Tabulka 11

Délka specializovaného tréninku a týdenní hodinová dotace – kategorie 2 (n = 23)

	M	SD
PČ [roky]	1,6	0,92
MP 2023/2024 [h]	5,09	1,53
MP 2022/2023 [h]	2,78	2,13
MP 2021/2022 [h]	0,83	1,56
SP 2023/2024 [h]	1,28	0,47
SP 2022/2023 [h]	0,57	0,57
SP 2021/2022 [h]	0,26	0,45

Poznámka. M = aritmetický průměr; SD = směrodatná odchylka; PČ = počet let specializovaného tréninku; MP = mokrá příprava – týdenní hodinová dotace; SP = suchá příprava – týdenní hodinová dotace.

Tabulka 12

Délka specializovaného tréninku a týdenní hodinová dotace – kategorie 3 (n = 22)

	M	SD
PČ [roky]	5,84	1,93
MP 2023/2024 [h]	9,55	0,86
MP 2022/2023 [h]	7,00	0,62
MP 2021/2022 [h]	6,41	1,50
SP 2023/2024 [h]	1,18	0,50
SP 2022/2023 [h]	1,80	0,67
SP 2021/2022 [h]	1,14	0,62

Poznámka. M = aritmetický průměr; SD = směrodatná odchylka; PČ = počet let specializovaného tréninku; MP = mokrá příprava – týdenní hodinová dotace; SP = suchá příprava – týdenní hodinová dotace.

Tabulka 13

Délka specializovaného tréninku a týdenní hodinová dotace – kategorie 4 (n = 18)

	M	SD
PČ [roky]	8,88	3,31
MP 2023/2024 [h]	7,11	1,94
MP 2022/2023 [h]	7,44	2,57
MP 2021/2022 [h]	8,28	2,35
SP 2023/2024 [h]	0,75	0,71
SP 2022/2023 [h]	1,14	0,70
SP 2021/2022 [h]	1,17	0,84

Poznámka. M = aritmetický průměr; SD = směrodatná odchylka; PČ = počet let specializovaného tréninku; MP = mokrá příprava – týdenní hodinová dotace; SP = suchá příprava – týdenní hodinová dotace.

Analýza dat ukázala souvislost mezi věkem synchronizovaných plavkyň a délkou specializovaného tréninku i týdenní tréninkovou dotací. S rostoucím věkem se oba parametry zvyšují. Největších rozdílů v počtu absolvovaných let specializovaného tréninku byl zjištěn u čtvrté kategorie, kdy maximum činilo 14,7 roku a minimum pouhých 3,7 roku. U této kategorie existují i značné odchylky v počtu hodin mokré přípravy, kdy například v sezóně 2022/2023 rozdíl dosahoval až 12 hodin týdně.

Mezi další specifikace souboru synchronizovaných plavkyň patří, že sedm z nich (tj. 10,3 %) je či bylo zařazeno do Sportovního centra mládeže (SCM).

Vedle synchronizovaného plavání se 24 plavkyň (35,3 % ze souboru) věnuje i dalším sportovním aktivitám. Z těchto 24 plavkyň 72,9 % z nich (tj. 19) pravidelně provozuje další esteticko-koordinační sporty, mezi které patří moderní a sportovní gymnastika, tanec, balet, moderní tanec a břišní tance. Mimoto se v tomto souboru objevuje i plavání, lezení, jízda na koni, atletika, volejbal a orientační běh.

Průměrná týdenní dotace věnovaná jinému sportu se v sezóně 2023/24 pohybovala okolo 2,8 hodin. V sezónách 2022/23 a 2021/22 průměrný čas věnovaný jinému sportu představoval okolo 2,9 a 2,6 hodin týdně. Obecněji lze říci, že zhruba třetina souboru trénuje i v jiné sportovní oblasti v rozsahu 2,5 až 3 hodin týdně. Délka průměrného aktivního zapojení do jiného sportu činí 3,6 roku. To naznačuje, že se jedná o poměrně dlouhodobý zájem o další sportovní aktivity vedle synchronizovaného plavání.

Dále je nutné zohlednit i hru na dechový nástroj či zpěv. Hru na dechový nástroj lze považovat za soustavný trénink dýchacích svalů, dále klade důraz na neustálou kontrolu proudění vzduchu a vyžaduje přiměřenou respirační aktivitu, což může vést ke zlepšení funkce

plic. Dle studie (Hatziaorou, Kousta, Hristara-Papadopoulou, & Tsanakas, 2018) hráči na dechové nástroje vykazovali významně vyšší hodnoty PEF, MIP a MEP ve srovnání s kontrolami. V souboru se nachází devět plavkyň (13,2 %), které se věnují hře na zobcovou flétnu (n = 5) nebo zpěvu (n = 4). Tyto plavkyně se hře na dechový hudební nástroj či zpěvu věnují v průměru 4,1 roku. Časová dotace pro tyto aktivity činí okolo 2 hodin týdně.

V neposlední řadě v souboru synchronizovaných plavkyň bylo šest z nich (8,8 %) diagnostikováno s chronickým onemocněním. Z tohoto počtu pět plavkyň (7,3 %) trpí astmatem a jedna plavkyně (1,5 %) arytmiemi.

4.2 Metody sběru dat

Spirometrické vyšetření bylo provedeno pomocí přenosného spirometru CONTEC SP80B a vyhodnocení za použití softwaru Spirometer(Lite). Spirometr funguje na principu přivádění vzduchu do turbíny, která ho rozděluje do deseti rotačních proudů pohánějících lopatku. Během rotace přijímací trubice vyhodnocuje a transformuje přijatý infračervený signál z infračervené emisní trubice. Ten je dále zpracován mikroprocesorem (SCM) a konvertován na měřené parametry. Udaná přesnost měření objemu činí 3 % nebo 0,05 l. Přesnost měření průtoku pak činí 5 % nebo 0,3 l/s.

Mezi testované parametry patřila usilovná vitální kapacita (FVC), jednovteřinová vitální kapacita (FEV1), Tiffeneauův index (FEV1/VC%), vrcholový výdechový průtok (PEF) a jejich procentuální vyjádření vzhledem k náležitým ventilačním hodnotám.

Sběr dat byl proveden před začátkem tréninkové jednotky v areálu plaveckého bazénu Lužánky a Ponávka v Brně. Testování bylo provedeno v měsíci dubnu roku 2024. K měření byly využity jednorázové jednocestné náustky.

Před každým měřením byly všechny účastnice studie podrobně informovány o postupu měření. To zahrnovalo verbální instrukce a případně i demonstraci správné techniky. Měření probíhalo ve vzpřímené poloze ve stoje. Samotné měření spočívalo v provedení maximálního možného usilovného výdechu po předchozím maximálním nádechu. Měření bylo provedeno ve dvou opakováních, přičemž lepší pokus byl zaznamenán.

Dále byly získány informace metodou dotazníkového šetření týkající se antropometrických údajů, plavecké historie a zdravotního stavu (příloha 1).

4.3 Statistické zpracování dat

Základní charakteristiky studovaných proměnných, jako je směrodatná odchylka a aritmetický průměr, byly získány pomocí deskriptivní analýzy. Pro statistické vyhodnocení

výsledků byl použit software Statistica 13.4 (Tibco[®], 2018). Statistické metody ANOVA (analýza rozptylu) a Tukeyho metoda mnohonásobného porovnání, řadící se do skupiny post-hoc testů, byly použity pro komparaci ventilačních parametrů mezi kategoriemi.

Pomocí metody ANOVA byly zjištěny hodnoty F a p. Hodnota F udává pravděpodobnost existence statisticky významného rozdílu mezi skupinami, přičemž vyšší hodnota indikuje větší rozdíl. P-hodnota vyjadřuje pravděpodobnost, s jakou by byl daný výsledek pozorován jako náhodný, zatímco by žádný rozdíl mezi studovanými skupinami neexistoval. Hodnoty p nižší než 0,05 udávají, že mezi skupinami v konkrétním parametru existují statisticky významné rozdíly.

5 VÝSLEDKY

5.1 Spirometrie

Mezi testované parametry patřila usilovná vitální kapacita (FVC), jednovteřinová vitální kapacita (FEV1), Tiffeneaův index (FEV1/VC%) a vrcholový výdechový průtok (PEF). V tabulce 14 jsou obsažena souhrnná data celého souboru získaná spirometrickým vyšetřením. Z naměřených dat je patrné, že soubor výrazně převyšuje náležité hodnoty ve všech měřených parametrech. Hodnota Tiffeneaova indexu přesáhla 90 %, hodnoty FVC, FEV1 a PEF se pohybovaly okolo 120 %.

Tabulka 14

Souhrn měřených ventilačních parametrů – celý soubor (n = 68)

	M	SD
FVC [l]	3,38	0,93
FVC [%]	119,08	20,32
FEV1 [l]	3,15	0,85
FEV1 [%]	121,61	17,82
FVC/FEV1 [%]	93,22	5,99
PEF [l]	5,89	1,54
PEF [%]	120,40	28,64

Poznámka. M = aritmetický průměr; SD = směrodatná odchylka.

V tabulkách 15, 16, 17, 18 jsou uvedeny výsledky spirometrických vyšetření pro jednotlivé kategorie. Ve všech kategoriích bylo dosaženo hodnot FVC/FEV1 mírně přesahující 90 %. V případě usilovné vitální kapacity byly nejvyšší hodnoty zaznamenány v kategorii 1, které dosahovaly téměř 130 %. Nejvyšší hodnoty jednovteřinové vitální kapacity byly zaznamenány u kategorie 3. Nejvyšší hodnoty vrcholového výdechového průtoku byly zaznamenány u kategorie 2, u které činily 134 %. U všech ostatních kategorií se hodnoty pohybovaly pod 120 %.

Tabulka 15*Souhrn měřených ventilačních parametrů – kategorie 1 (n = 5)*

	M	SD
FVC [l]	2,05	0,41
FVC [%]	128,80	25,52
FEV1 [l]	1,84	0,36
FEV1 [%]	123,18	22,76
FVC/FEV1 [%]	90,04	2,93
PEF [l]	3,88	1,27
PEF [%]	114,48	29,45

Poznámka. M = aritmetický průměr; SD = směrodatná odchylka.

Tabulka 16*Souhrn měřených ventilačních parametrů – kategorie 2 (n = 23)*

	M	SD
FVC [l]	2,67	0,52
FVC [%]	117,20	21,55
FEV1 [l]	2,49	0,51
FEV1 [%]	115,83	19,64
FVC/FEV1 [%]	93,40	6,38
PEF [l]	5,43	1,56
PEF [%]	133,62	29,69

Poznámka. M = aritmetický průměr; SD = směrodatná odchylka.

Tabulka 17*Souhrn měřených ventilačních parametrů – kategorie 3 (n = 22)*

	M	SD
FVC [l]	3,72	0,44
FVC [%]	120,84	18,47
FEV1 [l]	3,52	0,42
FEV1 [%]	125,49	16,32
FVC/FEV1 [%]	94,73	5,09
PEF [l]	6,03	1,29
PEF [%]	116,24	26,28

Poznámka. M = aritmetický průměr; SD = směrodatná odchylka.

Tabulka 18*Souhrn měřených ventilačních parametrů – kategorie 4 (n = 18)*

	M	SD
FVC [l]	4,26	0,76
FVC [%]	116,64	20,21
FEV1 [l]	3,90	0,66
FEV1 [%]	120,52	20,55
FVC/FEV1 [%]	92,03	6,88
PEF [l]	6,88	1,12
PEF [%]	110,23	25,61

Poznámka. M = aritmetický průměr; SD = směrodatná odchylka.

5.2 Komparace ventilačních parametrů mezi skupinami

V následujících analýzách byla z důvodu nízké četnosti vynechána kategorie 1. Pro vyhodnocení byla stanovena hladina statistické významnosti na $p < 0,05$.

5.2.1 Usilovná vitální kapacita

V tabulce 19 jsou uvedeny p hodnoty Tukeyho testu komparace usilovné vitální kapacity mezi kategoriemi. Hodnoty F a p získané metodou rozptylu činily $F = 41,35$ a $p < 0,001$. Tabulka ukazuje významnou statistickou diferenci v absolutních hodnotách FVC. Výsledky Tukeyho testu naznačují, že existují statisticky významné rozdíly v FVC mezi všemi třemi kategoriemi.

Tabulka 19*Komparace FVC (l) pomocí Tukeyho testu – p hodnoty*

	Kategorie 2	Kategorie 3	Kategorie 4
Kategorie 2		< 0,001*	< 0,001*
Kategorie 3	< 0,001*		0,01*
Kategorie 4	< 0,001*	0,01*	

Poznámka. * $p < 0,05$.

Tabulka 20 prezentuje komparaci náležitých hodnot usilovné vitální kapacity. F hodnota byla stanovena na $F = 0,27$ a p hodnota na $p = 0,76$. Post-hoc Tukeyho analýza potvrdila zjištění získané pomocí metody ANOVA, a to, že mezi skupinami v případě náležitých hodnot FVC neexistují statisticky významné rozdíly.

Tabulka 20

Komparace FVC (%) pomocí Tukeyho testu – p hodnoty

	Kategorie 2	Kategorie 3	Kategorie 4
Kategorie 2		0,82	1,00
Kategorie 3	0,82		0,79
Kategorie 4	1,00	0,79	

Poznámka. * $p < 0,05$.

5.2.2 Jednovteřinová vitální kapacita

Výsledky komparace absolutních hodnot jednovteřinové vitální kapacity jsou uvedeny v tabulce 21. V případě absolutních hodnot FEV1 se F a p hodnoty pohybovaly v obdobném rozmezí jako v případě absolutních hodnot FVC. F hodnota činila $F = 39,79$ a parametr statistické významnosti pak $p < 0,001$. U tohoto parametru byl zjištěn statisticky významný rozdíl jen při porovnání kategorie 2 s ostatními kategoriemi, tj. mezi 2 a 3, resp. 2 a 4.

Tabulka 21

Komparace FEV1 (l) pomocí Tukeyho testu – p hodnoty

	Kategorie 2	Kategorie 3	Kategorie 4
Kategorie 2		$< 0,001^*$	$< 0,001^*$
Kategorie 3	$< 0,001^*$		0,07
Kategorie 4	$< 0,001^*$	0,07	

Poznámka. * $p < 0,05$.

Obdobný trend jako v případě náležitých hodnot FVC je možné pozorovat i u náležitých hodnot FEV1, tedy že nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi kategoriemi. Hodnota F činila $F = 1,48$ a p hodnota $p = 0,24$. Výsledky komparace jsou uvedeny v tabulce 22.

Tabulka 22

Komparace FEV1 (%) pomocí Tukeyho testu – p hodnoty

	Kategorie 2	Kategorie 3	Kategorie 4
Kategorie 2		0,21	0,71
Kategorie 3	0,21		0,69
Kategorie 4	0,71	0,69	

*Poznámka. *p < 0,05.*

5.2.3 Tiffeneauův index

Hodnoty získané analýzou rozptylu pro Tiffeneauův index opět nenaznačovaly statisticky výrazný rozdíl mezi porovnávanými kategoriemi. Analýzou byla stanovena hodnota $F = 0,97$ a statistická významnost na $p = 0,39$. Tyto výsledky byly potvrzeny i post-hoc testem. Data získaná Tukeyho testem jsou uvedena v tabulce 23.

Tabulka 23

Komparace FVC/FEV1 (%) pomocí Tukeyho testu – p hodnoty

	Kategorie 2	Kategorie 3	Kategorie 4
Kategorie 2		0,75	0,76
Kategorie 3	0,75		0,35
Kategorie 4	0,76	0,35	

*Poznámka. *p < 0,05*

5.2.4 Vrcholový výdechový průtok

Analýzou absolutních hodnot vrcholového výdechového průtoku byla zaznamenána hodnota $F = 5,81$ a hodnota $p = 0,005$. Následnou post-hoc analýzou byl potvrzen statisticky významný rozdíl mezi kategorií 2 a 4. Mezi sousedními kategoriemi však signifikantní rozdíl zjištěn nebyl. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 24.

Tabulka 24

Komparace PEF (l) pomocí Tukeyho testu – p hodnoty

	Kategorie 2	Kategorie 3	Kategorie 4
Kategorie 2		0,30	< 0,004*
Kategorie 3	0,30		0,13
Kategorie 4	< 0,004*	0,13	

*Poznámka. *p < 0,05.*

V případě náležitých hodnot vrcholového výdechového průtoku byl pozorován obdobný trend jako u absolutních, kdy byl signifikantní rozdíl nalezen jen mezi vzdálenějšími kategoriemi 2 a 4. Mezi sousedními kategoriemi opět významný rozdíl zjištěn nebyl. Výsledky post-hoc testu jsou uvedeny v tabulce 25.

Tabulka 25

Komparace PEF (%) pomocí Tukeyho testu – p hodnoty

	Kategorie 2	Kategorie 3	Kategorie 4
Kategorie 2		0,09	0,02*
Kategorie 3	0,09		0,77
Kategorie 4	0,02*	0,77	

*Poznámka. *p < 0,05.*

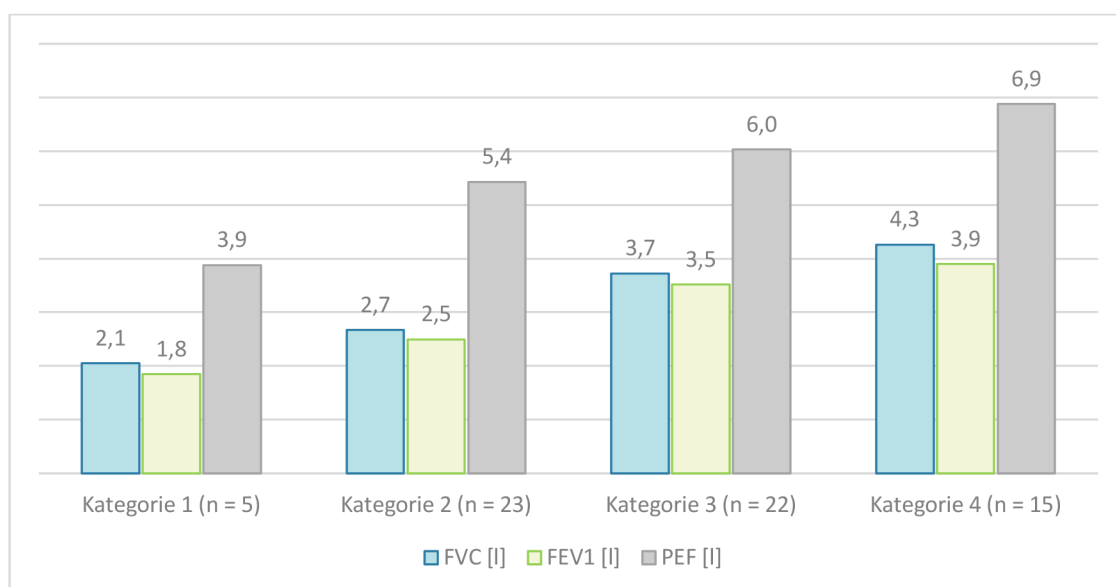
6 DISKUSE

Synchronizované plavání klade vysoké nároky na respirační systém sportovců. Z důvodu vysoké fyzické námahy a dlouhých apnoických pauz by mělo docházet ke specifickým adaptacím dýchacího systému. A to konkrétně ke zvýšení hodnot dynamických ventilačních parametrů oproti fyziologickým hodnotám běžné populace.

Z výsledků spirometrického měření je patrný jasný trend růstu absolutních hodnot dynamických ventilačních parametrů se zvyšující se kategorií, zejména usilovné vitální kapacity, jednovteřinové vitální kapacity a vrcholového výdechového průtoku. V případě Tiffeneauova indexu byly získané hodnoty podobné pro všechny kategorie. Maximální individuální hodnota usilovné vitální kapacity činila 157 %. V rámci jednovteřinové vitální kapacity pak 168 % a vrcholového výdechového průtoku 197 %. Nadstandardně vysoké hodnoty FVC značí schopnost pojmout větší množství vzduchu a efektivnější práci dýchacího systému při zatížení. Vyšší hodnoty FEV1 a PEF pak mohou indikovat vyšší sílu výdechových svalů, která může vznikat v důsledku adaptace na zvýšený odpor při výdechu do vody a také zejména posílení nádechových svalů při nádechu vůči hydrostatickému tlaku. Obrázek 4 zobrazuje komparaci dynamických spirometrických parametrů mezi kategoriemi u synchronizovaných plavkyň.

Obrázek 4

Komparace dynamických spirometrických parametrů mezi kategoriemi

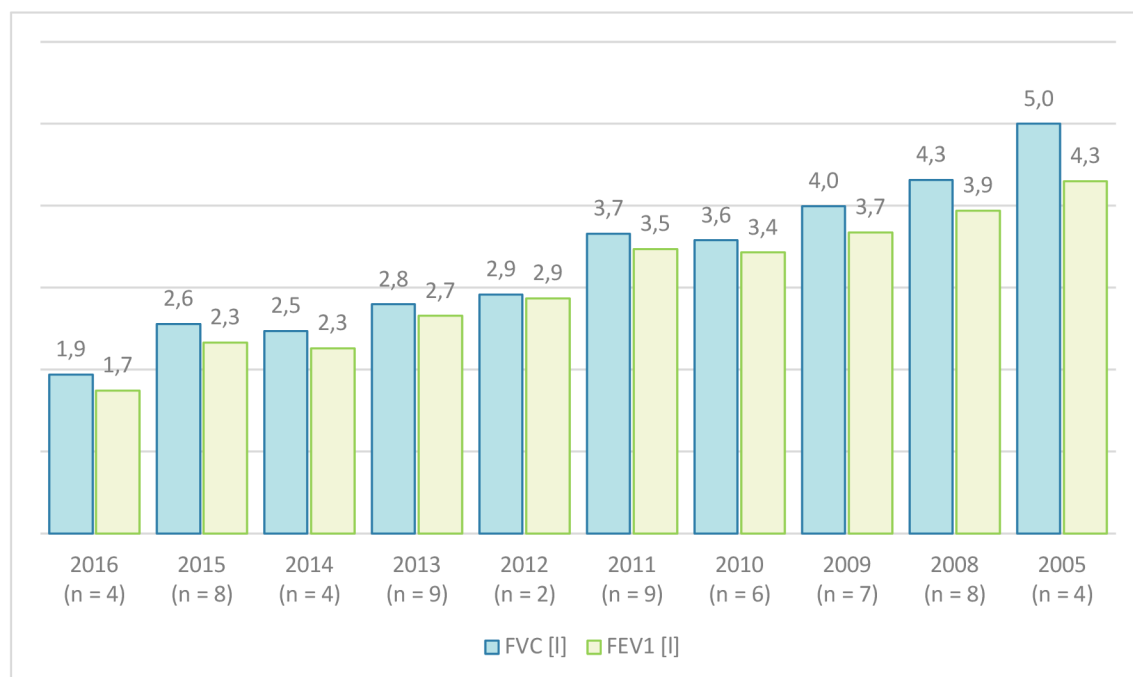


Oproti tomu v případě náležitých hodnot usilovné vitální kapacity nebyly zjištěny žádné statisticky významné rozdíly.

Plynulý nárůst hodnot dynamických spirometrických parametrů byl zaznamenán i mezi jednotlivými ročníky, což je zobrazeno na obrázku 5. Hodnoty usilovné vitální kapacity se pohybovaly od 1,9 l u ročníku 2016 až po 2,5násobný nárůst na 5,0 l naměřených u plavkyň ročníku narození 2005. V případě jednovteřinové vitální kapacity se jednalo o nárůst z hodnoty 1,7 l na 4,3 l. Z důvodu nízké četnosti plavkyň v daném ročníku nebyly některé účastnice zařazeny do srovnání.

Obrázek 5

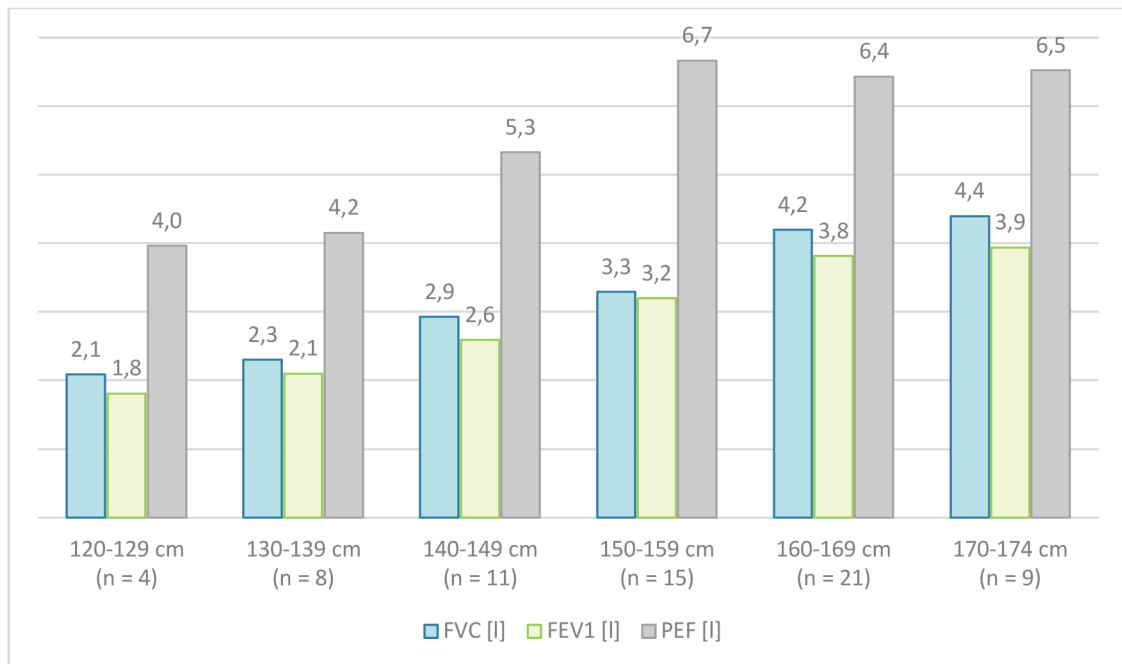
Komparace dynamických spirometrických parametrů mezi jednotlivými ročníky



Vzhledem k tomu, že vitální kapacita plic (FVC) je přímo ovlivněna tělesným vývojem, byl potvrzen předpoklad, že absolutní hodnoty FVC jsou závislé na výšce postavy daného souboru. Obrázek 6 reprezentuje závislost velikosti hodnot FVC, FEV1 a PEF na výšce probandů. Hodnoty usilovné vitální kapacity a jednovteřinové vitální kapacity kontinuálně rostou se zvyšující se výškou plavkyň. U hodnot vrcholového výdechového průtoku však dochází od výšky 160 cm ke stagnaci naměřených hodnot.

Obrázek 6

Komparace dynamických spirometrických parametrů mezi jednotlivými výškovými kategoriemi



Studie Sadiq et al. (2019) zabývající se spirometrickým vyšetřením u dětí udává následující hodnoty spirometrických parametrů – FVC = $2,10 \pm 0,74$; FEV1 = $1,97 \pm 0,73$; FEV1/FVC = $92,89 \pm 4,49$ a PEF = $3,7 \pm 1,06$. Jednalo se o soubor 267 dívek ve věku $12,66 \pm 2,8$ s výškou $146,4 \pm 13,3$ a hmotností $42,2 \pm 15$. Průměrný věk dívek udávaný mezi dvanáctým a třináctým rokem odpovídá dívkám na rozhraní kategorií 2 a 3 (obrázky 4 a 5). Z výsledků je patrné, že téměř všechny hodnoty získané spirometrickým vyšetřením synchronizovaných plavkyň jsou značně vyšší než ty zmíněné v dané studii. Výjimkou je Tiffeneauův index, který se pohyboval okolo podobných hodnot.

V další studii (Martínez-Briseño et al., 2021) byly testované dívky rozděleny do kategorií dle věku (tabulka 26), pro tuto práci jsou relevantní skupiny 0-10 (n = 791) a 11-20 let (n = 1222). Při komparaci dat ze zmíněné studie s touto prací vyplývá, že výsledky měření plavkyň (obrázky 5 a 6) přesahují hodnoty běžné populace. U věkové kategorie 0-10 let byly v případě parametru FVC získány průměrné hodnoty až o 0,46 l (24 %) vyšší. Obdobně tomu bylo u parametru FEV1, kdy hodnoty získané v této práci byly o 28 % vyšší. U věkové kategorie 11-20 let byly rozdíly v hodnotách mírně nižší. Získané hodnoty FVC byly o 15 % vyšší než ve studii. Větší rozdíl byl znovu patrný u FEV1, a to 20 %.

Tabulka 26

Deskriptivní analýza spirometrických parametrů dle studie (Martínez-Briseño et al., 2021)

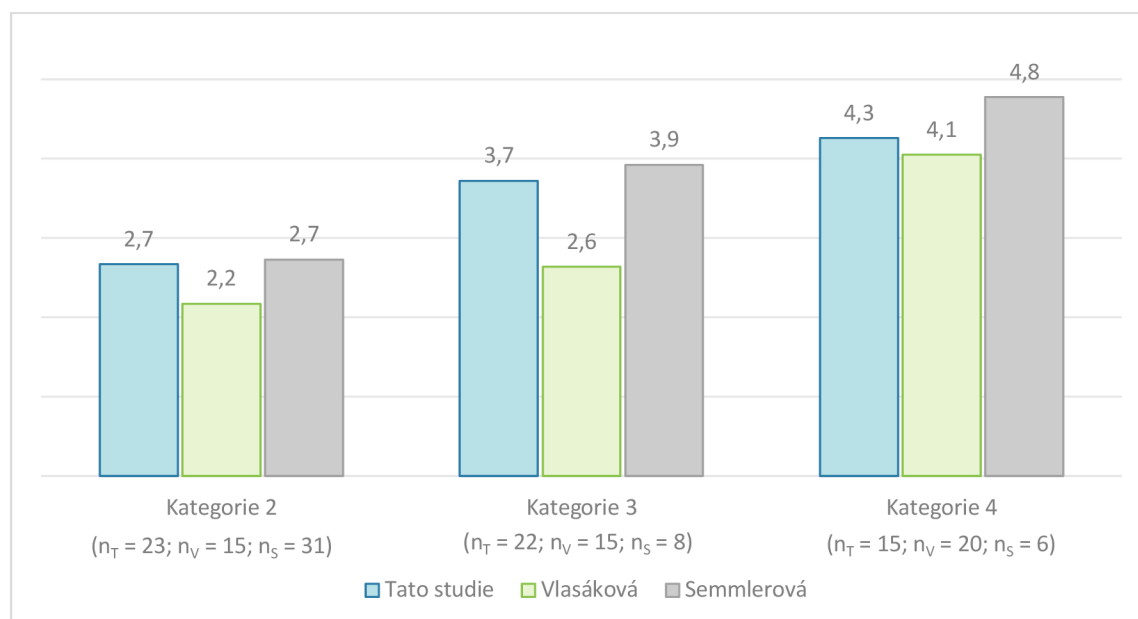
Věková skupina	FVC [l]	FEV1 [l]	FEV1/FVC [%]	Výška [cm]
0–10	1,93 ± 0,39	1,70 ± 0,35	88 ± 6,7	129,5 ± 8,7
11–20	3,25 ± 0,68	2,93 ± 0,62	90,3 ± 6	152,3 ± 8,9

V České republice byly provedeny dvě rozsáhlejší studie týkající se spirometrického vyšetření u synchronizovaných plavkyň (Semmlerová, 2021; Vlasáková, 2019). Velikost souboru Semmlerové činil 45 dívek, a to 31 v kategorii 2, osm v kategorii 3 a šest v kategorii 4. Ve studii Vlasákové se výzkumný soubor skládal z 50 synchronizovaných plavkyň, a to konkrétně z 15 v kategorii 2, 15 v kategorii 3 a 20 v kategorii 4. Komparace dat těchto studií s nynější jsou zobrazeny na obrázku 7, 8 a 9.

Ze všech třech studií je patrný nárůst usilovné vitální kapacity se vzrůstajícím věkem děvčat. V kategorii 2 a 3 byla naměřená data ve značném souladu s daty Semmlerové (2021), přičemž větší rozdíl byl zaznamenán u kategorie 4. Naopak tomu bylo při komparaci dat se studií Vlasákové (2019), kdy větší shoda v hodnotách FVC byla nalezena u kategorie 4. Je nutné však zmínit, že hodnoty FVC ve studii Vlasákové byly nižší ve všech třech kategoriích. Data usilovných vitálních kapacit jsou zobrazeny na obrázku 7.

Obrázek 7

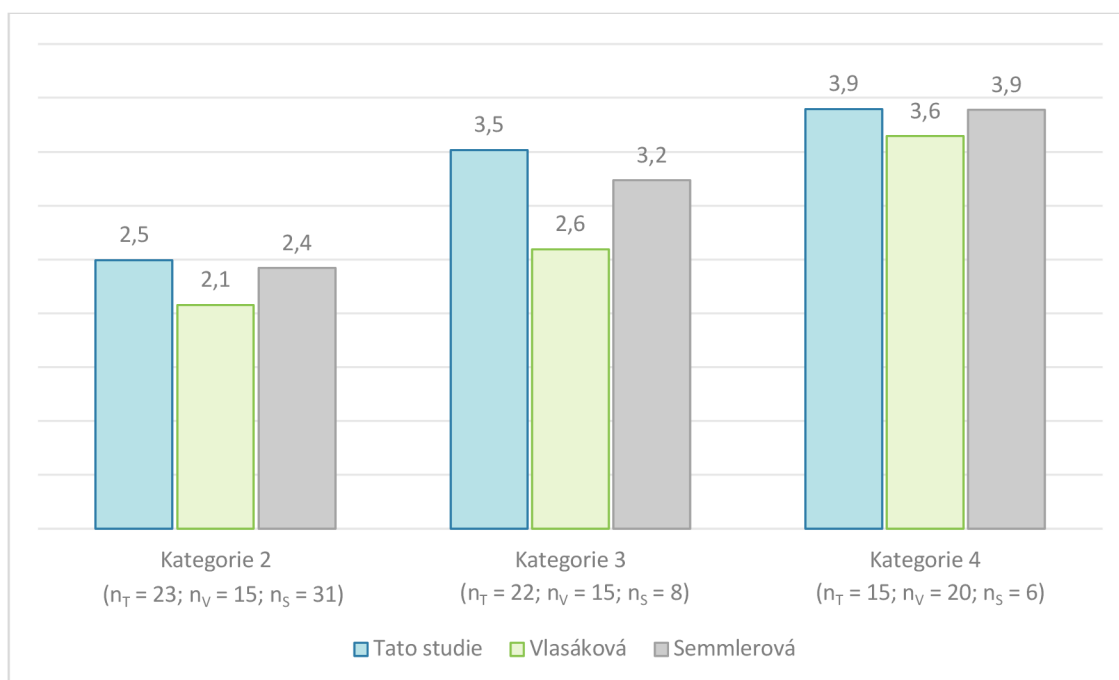
Komparace hodnot FVC [l] u synchronizovaných plavkyň napříč třemi studiemi



Při komparaci dat jednoteřinové vitální kapacity (obrázek 8) byla opět zjiřtĚna velká shoda s výsledky studie Semmlerové (2021), tentokrát byl však mírný rozdíl zaznamenán u kategorie 3. I v tomto případě hodnoty získané spirometrickým vyšetřením Vlasákové (2019) byly značně nižší oproti dříve zmínĚným studiím. I zde je důležité poznamenat, že nejvyšší shody v hodnotách FEV1 bylo dosaženo u kategorie 4.

Obrázek 8

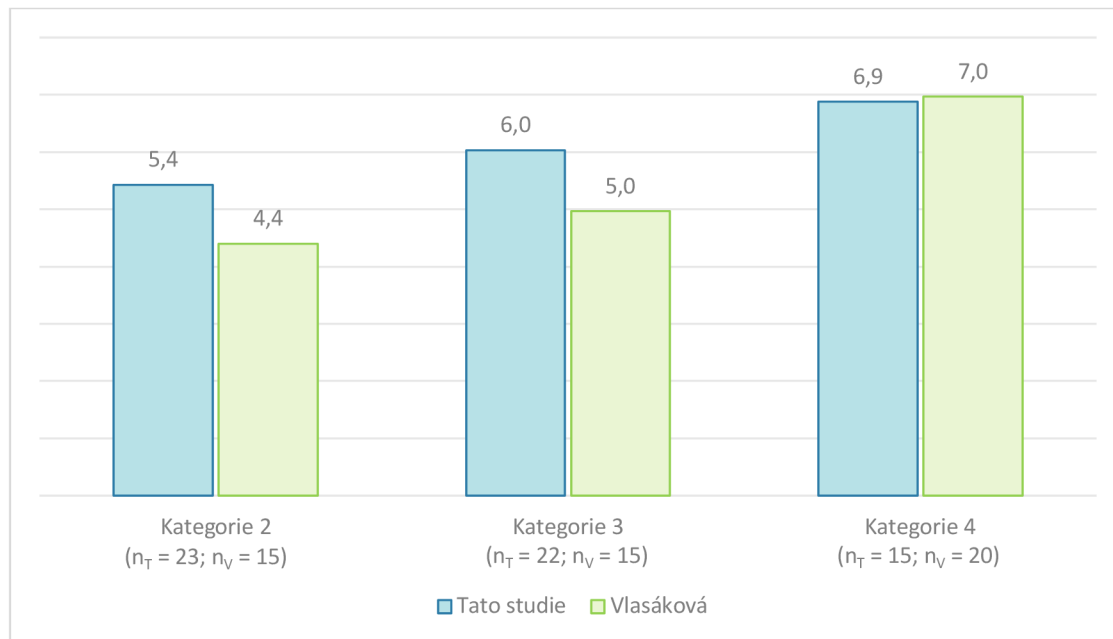
Komparace hodnot FEV1 [l] u synchronizovaných plavkyň napříč třemi studiemi



Obrázek 9 zobrazuje porovnání hodnot vrcholového výdechového průtoku. Pro tento parametr jsou dostupná data pouze ze studie Vlasákové (2019). StejnĚ jako v předchozích případech jsou dosažené hodnoty PEF značně nižší ve zmínĚné studii. OpĚt až ve 4 kategoriích byly dosaženy téměř shodné hodnoty.

Obrázek 9

Komparace hodnot PEF [l] u synchronizovaných plavkyň napříč dvěma studii



Další studie (Gabrilo et al., 2011) týkající se spirometrických ukazatelů byla provedena u chorvatských synchronizovaných plavkyň. Výzkumný soubor se skládal z 24 plavkyň ve věku 14–16 let. Průměrné hodnoty FVC v této studii byly stanoveny na 3,45 l, FEV1 na 3,04 l, PEF na 5,58 l a Tiffeneaův index činil 102,43 %. Hodnoty ve zmíněné studii byly mírně nižší než v této práci. Výjimku však tvořil Tiffeneaův index, který byl téměř o 10 % vyšší u chorvatských plavkyň.

V neposlední řadě studiemi spirometrických ukazatelů se zabývala i následující práce García Alday et al. (2020). Sběr dat byl proveden u španělských synchronizovaných plavkyň (n = 11), přičemž jejich průměrný věk činil 20,3 roku. Ve studii byly zaznamenány tyto hodnoty ukazatelů – FVC = 4,46 ± 0,5 l; FEV1 = 3,7 ± 0,5 l a PEF = 6,8 ± 1,3 l. Tyto hodnoty jsou ve značném souladu s hodnotami naměřenými v této práci pro kategorii 4 (obrázek 4).

7 ZÁVĚRY

Z výsledků spirometrického měření je patrný jasný trend růstu absolutních hodnot dynamických ventilačních parametrů se zvyšující se věkovou kategorií, a to konkrétně usilovné vitální kapacity, jednovteřinové vitální kapacity a vrcholového výdechového průtoku. V případě Tiffeneauva indexu byly získané hodnoty přibližně stejné pro všechny kategorie, a to mírně přesahující 90 %. Plynulý nárůst hodnot dynamických spirometrických parametrů byl zaznamenán i mezi jednotlivými ročníky a výškovými kategoriemi (v případě PEF stagnace od 160 cm). Dále bylo zjištěno následující:

- FVC
 - statisticky významná diference mezi všemi třemi kategoriemi v absolutních hodnotách FVC.
- FEV1
 - statisticky významný rozdíl v absolutních hodnotách mezi kategorií 2 a ostatními kategoriemi, tj. mezi 2 a 3, resp. 2 a 4.
- PEF
 - statisticky významný rozdíl v absolutních i náležitých hodnotách mezi kategorií 2 a 4.
- při komparaci naměřených hodnot s výsledky studií běžné populace vyplynulo, že výsledky měření plavkyň až na Tiffeneauv index přesahují hodnoty běžné populace.
- ventilační parametry plavkyň ve všech případech dosahují obdobných vyšších hodnot jako plavkyně z jiných klubů či zemí.

Synchronizované plavání klade vysoké nároky na respirační systém sportovců. Získaná data poukazují na adaptaci dýchacího systému na specializovaný trénink. Jako například značně vysoké hodnoty FVC, které mohou značit schopnost pojmout větší množství vzduchu a efektivnější práci dýchacího systému při zatížení. Dále vyšší hodnoty FEV1 a PEF pak mohou indikovat vyšší sílu výdechových svalů, která může vznikat v důsledku adaptace na zvýšený odpor při výdechu do vody a také zejména posílení nádechových svalů při nádechu proti hydrostatickému tlaku.

Vzhledem k výrazně nižšímu počtu studií zaměřených na synchronizované plavání ve srovnání s jinými sporty může tato práce sloužit k rozšíření poznatků o tomto neustále se rozvíjejícímu sportu.

8 SOUHRN

Cílem předkládané bakalářské práce bylo zjištění základních spirometrických ukazatelů u synchronizovaných plavkyň.

V literární části je pozornost věnována charakteristice synchronizovaného plavání a jeho historii, dále pak vývojem pravidel a dopady jejich aktuálních změn a v neposlední řadě výkonem v synchronizovaném plavání. Druhá část přehledu poznatků je zaměřena na dechové funkce, konkrétně na mechaniku a regulaci dýchání, adaptaci dýchacího systému na zátěž a způsob dýchání ve vodním prostředí. Poslední část je pak zaměřena na samotnou spirometrii a měřitelné plicní objemy a kapacity.

Tato práce se zabývá provedením spirometrického vyšetření a porovnáním získaných hodnot mezi kategoriemi. Mezi studované parametry patřila usilovná vitální kapacita, jednovteřinová vitální kapacita, Tiffeneaův index a vrcholový výdechový průtok.

V rámci sběru dat pomocí spirometrie v oddílech synchronizovaného plavání VSK Univerzita Brno a Klubu plaveckých sportů policie Kometa Brno byl vytvořen výzkumný soubor skládající se z 68 děvčat. Za použití dotazníkového šetření byla provedena jeho charakterizace.

Metoda ANOVA a post-hoc Tukeyho metoda byly použity pro statistické zpracování získaných dat. Pro vyhodnocení byla stanovena hladina statistické významnosti na $p < 0,05$.

Bylo zjištěno, že až na Tiffeneaův index absolutní hodnoty dynamických ventilačních parametrů narůstají se zvyšující se kategorií. Což bylo potvrzeno i v rámci komparace mezi jednotlivými ročníky. Dále růst absolutních hodnot FVC a FEV1 korespondoval se zvyšující se výškou dívek v souboru. U hodnot vrcholového výdechového průtoku došlo od určité výšky ke stagnaci růstu. Taktéž byla zjištěna statisticky významná diference mezi všemi třemi kategoriemi v absolutních hodnotách FVC. U FEV1 byla zjištěna významná diference mezi kategorií 2 a ostatními kategoriemi, tj. mezi 2 a 3, resp. 2 a 4. V případě PEF byla zjištěna významná diference jen u krajních kategorií, což platilo i pro náležitě hodnoty.

Nakonec naměřené hodnoty značně přesahovaly fyziologické hodnoty pro dané věkové kategorie a byly srovnatelné s daty jiných studií provedených u synchronizovaných plavkyň.

9 SUMMARY

The aim of this bachelor's thesis was to determine the basic spirometric parameters of synchronized swimmers.

The literature part focuses on the characteristics of synchronized swimming and its history, as well as the development of the rules and the impact of their current changes, and last but not least, on performance in synchronized swimming. The second part of the literature review is dedicated to respiratory functions, specifically the mechanics and regulation of breathing, the adaptation of the respiratory system to exercise, and the method of breathing in an aquatic environment. The last section addresses spirometry itself and measurable lung volumes and capacities.

This thesis deals with the performance of spirometric examination and the comparison of the obtained values between categories. The studied parameters included forced vital capacity (FVC), forced expiratory volume in one second (FEV1), the Tiffeneau index, and peak expiratory flow (PEF).

A research sample consisting of 68 girls was created through data collection using spirometric examination in the synchronized swimming club at VSK University Brno and the Swimming Sports Club of the Police Kometa Brno. The sample was characterized using a questionnaire survey.

The ANOVA method and the post-hoc Tukey method were used for the statistical processing of the obtained data. The significance level for evaluation was set at $p < 0.05$.

It was found that, except for the Tiffeneau index, the absolute values of dynamic ventilatory parameters increased with increasing category, which was also confirmed through comparisons between individual years of birth. Furthermore, the growth of absolute values of FVC and FEV1 corresponded with the increasing height of the girls in the sample. For PEF values, growth stagnation occurred at a certain height. There was also a statistically significant difference between all three categories in the absolute values of FVC. A significant difference was found for FEV1 between category 2 and the other categories, i.e., between 2 and 3 and 2 and 4. In the case of PEF, a significant difference was found only between categories 2 and 4, which was also true for the physiological values.

Finally, the measured values significantly exceeded the physiological values for the given age categories and were comparable with data from other studies conducted on synchronized swimmers.

10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Bean, D. P. (2005). *Synchronized swimming: an American history*. McFarland.
- Bentley, D., Viana, E., & Logan-Sprenger, H. (2022). Metabolic and performance responses to a simulated routine in elite artistic swimmers. *Sports*, 10, 190. doi:10.3390/sports10120190
- Bernaciková, M. (2012). *Fyziologie*. Retrieved from <https://www.fsps.muni.cz/emuni/data/reader/book-3/Cover.html>
- Botek, M., Neuls, F., Klimešová, I., & Vyhnánek, J. (2017). *Fyziologie pro tělovýchovné obory (vybrané kapitoly, část I.)*. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Brožek, G., Herget, J., & Vizek, M. (1999). *Poznámky k přednáškám z fyziologie. První díl - dýchání, cirkulace, svaly, neurofyziologie*. H&H.
- Davies, B., Donaldson, G., & Joels, N. (1995). Do the competition rules of synchronized swimming encourage undesirable levels of hypoxia? *British Journal of Sports Medicine*, 29, 16-19. doi:10.1136/bjism.29.1.16
- FINA Artistic Swimming Innovation Group (2022a). *Introduction guide for the application of declared difficulty*. Retrieved from <https://resources.fina.org/fina/document/2022/09/06/6f813fa5-fd38-48dd-b175-91b98d4255d8/2022-Difficulty-Introduction-Guide-02.02.2022-1-.pdf>
- FINA (2013). *Synchronized swimming rules 2013-2017*. Retrieved from https://koe.org.gr/uploads/docs/syxonismeni_kolymvisi/sy_rules_20132017.pdf
- FINA (2017). *Fina artistic swimming rules 2017-2021*. Retrieved from <https://resources.fina.org/fina/document/2021/01/08/e9bfaa2e-3bd5-4127-8ad2-29c51d71fdf4/ARTISTIC-SWIMMING-2017-2021.pdf>
- FINA (2021). *Artistic swimming: Dynamic artistry!*. Retrieved from https://resources.fina.org/fina/document/2021/01/11/b7e448d2-6932-4ae4-856a-635d7cd09b01/fina_as_brochure_-_105x148mm_08_hr.pdf
- FINA (2022a). *Artistic swimming rules 2022-2025*. Retrieved from <https://resources.fina.org/fina/document/2022/10/17/60891469-6e56-4927-85d9-72dada33538d/00-AS-Rules-2022-2025.pdf>
- FINA (2022b). *Artistic swimming rules 2022-2025: Appendix III - Set Numbers of Elements for Routines*. Retrieved from <https://resources.fina.org/fina/document/2022/11/01/7153c38e-c9e4-4cff-ba4c-96d9f5b55ee2/04-AS-Rules-2022-2025-Appendix-III.pdf>

- FINA (2022c). *Artistic swimming rules - Appendix II - Technical routines 2022-2025*. Retrieved from <https://resources.fina.org/fina/document/2022/06/30/d228a582-a035-4cfd-9e63-6dc70cd4c990/04-AS-Rules-2022-2025-Appendix-II.pdf>
- FINA (2022d). *Artistic swimming rules - Appendix I - Youth figures 2022-2025*. Retrieved from <https://resources.fina.org/fina/document/2022/09/13/597576c0-17e8-445c-ad09-35323538e39d/02-AS-Rules-2022-2025-Appendix-1-13-15-figures-CLEAN.pdf>
- FINA Communications Department (2017). *PR 55 - General Congress re-elects Dr Julio C. Maglione as FINA President*. Retrieved from <https://www.worldaquatics.com/news/1910106/pr-55-general-congress-re-elects-dr-julio-c-maglione-as-fina-president>
- FINA Communications Department (2022). *FINA becomes World Aquatics as new brand launched*. Retrieved from <https://www.worldaquatics.com/news/2979029/fina-becomes-world-aquatics-as-new-brand-launched>
- Fried, K., & Carlsen, A. (2020). *History of artistic swimming*. Retrieved from <https://www.artisticswimmingcourses.com/about-1>
- Gabrilo, G., Peric, M., & Stipic, M. (2011). Pulmonary function in pubertal synchronized swimmers: 1-year follow-up results and its relation to competitive achievement. *Medical Problems of Performing Artists, 26*, 39-43. doi:10.21091/mppa.2011.1006
- Ganong, W.F. (2005). *Přehled lékařské fyziologie*. Galén.
- García Alday, I., Drobnic, F., Pons, V., & Viscor, G. (2020). Changes in lung diffusing capacity of elite artistic swimmers during training. *International Journal of Sports Medicine, 42*. doi:10.1055/a-1212-1020
- Godek, D., & Freeman, A. M. (2022). Physiology, diving reflex. In *StatPearls*. StatPearls.
- Gooden, B. A. (1994). Mechanism of the human diving response. *Integrative Physiological and Behavioral Science, 29*(1), 6-16. doi:10.1007/BF02691277
- Hatziagorou, E., Kousta, A., Hristara-Papadopoulou, A., & Tsanakas, J. (2018). Pulmonary function in young wind instrument players. *European Respiratory Journal, 52*(suppl 62), 4575. doi:10.1183/13993003.congress-2018.PA4575
- Hoch, M. (1987). *Plavání (teorie a didaktika): učebnice pro posluchače studijního oboru tělesná výchova a sport*. SPN.
- Hrbáčová, T. (2011). *Sportovní příprava českých reprezentantek synchronizovaného plavání v sezoně 2009/2010*. Bakalářská práce, Masarykova univerzita, Fakulta sportovních studií, Brno.
- Hrušková, J., Jakubík, J., Hendrych, M., Paštěka, R., Jana Svačinová, Budinskaya, K., ... Nováková, Z. (2021). *Fyziologie – teorie k praktickým cvičením*. Masarykova univerzita.

- Retrieved from <http://is.muni.cz/elportal/?id=1783338>.
- Marmet, C. (2022). *Figures*. Retrieved from <https://insidesynchro.org/figures/>
- Chatard, J.-C., Mujika, I., Chantegraille, M., & Kostucha, J. (1999). Performance and physiological responses to a 5-week synchronized swimming technical training programme in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 79, 479-483. doi:10.1007/s004210050540
- Jandová, K., & Marešová, D. (2010). *Praktická cvičení z fyziologie dýchání pro studenty všeobecného lékařství, zubního lékařství a bakalářských směrů*. Retrieved from <https://fyziologie.lf1.cuni.cz/file/5621/Fyziologie%20d%C3%BDch%C3%A1n%C3%AD.pdf>
- Klečková, J. (1992). *Synchronizované plavání*. Univerzita Palackého.
- Kociánová, J. (2017). Spirometrie - základní vyšetření funkce plic. *Vnitřní lékařství*, 63(11), 889-894. doi:10.36290/vnl.2017.162
- Labudová, J. (2011). *Synchronizované plávanie*. ABL Print.
- Lehnert, M., Botek, M., Sigmund, M., Smékal, D., Šťastný, P., Malý, T., ... Neuls, F. (2014). *Kondiční trénink*. Retrieved from <https://publi.cz/books/149/Cover.html>
- Lukáš, K., & Žák, A. (2022). *Chorobné znaky a příznaky: diferenciální diagnostika*. Grada.
- Martínez-Briseño, D., Gochicoa-Rangel, L., Torre-Bouscoulet, L., Cid-Juárez, S., Fernández-Plata, R., Martínez-Valdeavellano, L., ... Pérez-Padilla, R. (2021). Comparing spirometric reference values from childhood to old age estimated by LMS and linear regression models. *Archivos de Bronconeumología*, 57(3), 172-178. doi:10.1016/j.arbr.2019.12.026
- Mlčochová, A. (2023). *Dopad změn pravidel synchronizovaného plavání na trénování a rozhodování akvabel v letech 2022-2025*. Bakalářská práce, Univerzita Palackého, Fakulta tělesné kultury, Olomouc.
- Mountjoy, M. (1999). The basics of synchronized swimming and its injuries. *Clinics in Sports Medicine*, 18(2), 321-336. doi:[https://doi.org/10.1016/S0278-5919\(05\)70148-4](https://doi.org/10.1016/S0278-5919(05)70148-4)
- Neuls, F., Botek, M., Krejci, J., Sládečková, B., Valenta, M., Klimešova, I., & Sigmund, M. (2024). *Fyziologie pro tělovýchovné obory (vybrané kapitoly, část II.)*. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Neuls, F., Svozil, Z., Viktorjeník, D., & Dub, J. (2013). *Plavání (příručka pro studující tělovýchovné obory)*. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Paris 2024 Olympics (2024). *Artistic swimming*. Retrieved from <https://olympics.com/en/paris-2024/sports/artistic-swimming>

- Plutinský, M. (2020). *Funkční vyšetření plic*. Retrieved from https://is.muni.cz/el/med/podzim2020/ZLVL7X62c/um/Funkcni_vysetreni_plic__medi_ci_2020_.pdf
- Ponce M. C., Sankari A., Sharma S. (2023). Pulmonary Function Tests. In *StatPearls*: StatPearls. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482339/>
- Pyne, D., & Sharp, R. (2014). Physical and energy requirements of competitive swimming events. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 24. doi:10.1123/ijsnem.2014-0047
- Robertson, S., Benardot, D., & Mountjoy, M. (2014). Nutritional recommendations for synchronized swimming. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 24. doi:10.1123/ijsnem.2014-0013
- Rodríguez, F., & Mader, A. (2011). Energy systems in swimming. In *World Book of Swimming* (pp. 225-240). Nova Science.
- Sadiq, S., Rizvi, N. A., Soleja, F. K., & Abbasi, M. (2019). Factors affecting spirometry reference range in growing children. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, 35(6), 1587-1591. doi:10.12669/pjms.35.6.1212
- Semmlerová, M. (2021). *Vliv uměleckého plavání na vybrané respirační funkce u dívek ve věku 9-19 let*. Bakalářská práce, Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, Olomouc.
- Slavíková, J., & Švíglerová, J. (2014). *Fyziologie dýchání*. Karolinum.
- Storz, J. F. (2016). Hemoglobin-oxygen affinity in high-altitude vertebrates: is there evidence for an adaptive trend? *Journal of Experimental Biology*, 219(20), 3190-3203. doi:10.1242/jeb.127134
- Štekerová, M. (2012). *Vývoj pravidel synchronizovaného plavání*. Bakalářská práce, Univerzita Karlova, Fakulta tělesné výchovy a sportu, Praha.
- Trhlíková, L. (2011). *Základní polohy v synchronizovaném plavání*. Bakalářská práce, Univerzita Palackého, Fakulta tělesné kultury, Olomouc.
- Viana, E., Bentley, D. J., & Logan-Sprenger, H. M. (2019). A physiological overview of the demands, characteristics, and adaptations of highly trained artistic swimmers: a literature review. *Sports Medicine - Open*, 5(1), 16. doi:10.1186/s40798-019-0190-3
- Vlasáková, M. (2019). *Vliv synchronizovaného plavání na respirační funkce*. Bakalářská práce, Univerzita Karlova, Fakulta tělesné výchovy a sportu, Praha.
- World Aquatics (2022). *For the first time, men eligible to compete in Artistic Swimming at the Olympic Games in Paris 2024*. Retrieved from <https://www.worldaquatics.com/news/2990453/for-the-first-time-men-eligible-to-compete-in-artistic-swimming-at-the-olympic-games-in-paris-2024>

- World Aquatics (2022). *Artistic swimming manual for judges, technical controllers, referees & coaches* 2022-2025. Retrieved from https://resources.fina.org/fina/document/2023/06/16/87f71841-01d3-4ecc-943c-ef67954f5c2d/AQUA-AS-MANUAL_15-JUNE-23.pdf
- World Aquatics (2024a). *Artistic swimming memorandum - March 2024*. Retrieved from https://www.dsv.de/fileadmin/dsv/documents/Amtliche_Mitteilungen/24-03-18_World_Aquatics_-_AS_Memo_March_1__2024__Apnea___Factors_Table_.pdf
- World Aquatics (2024b). *Introductory guide for the application of declared difficulty*. Retrieved from <https://resources.fina.org/fina/document/2024/03/19/25274d18-3b99-453d-bef2-3c64bce63856/AQUA-Difficulty-Guide-v4.2-March-5-2024-R-T-Limit-L5-9-ALL-events-2-1-.pdf>
- Yamamura, C., Zushi, S., Takata, K., Ishiko, T., Matsui, N., & Kitagawa, K. (1999). Physiological characteristics of well-trained synchronized swimmers in relation to performance scores. *International Journal of Sports Medicine*, 20(4), 246-251. doi:10.1055/s-2007-971125

11 PŘÍLOHY

11.1 Dotazník

Dotazník k monitoringu spirometrických ukazatelů u synchronizovaných plavkyň

*Uvedené osobní údaje budou během zpracování práce z anonymizovány.
Platnou odpověď zakroužkuj.*

Jméno: Příjmení:

Datum narození:

Výška: cm Váha: kg

1. Trpíš chronickým respiračním onemocněním (např. astma)? ANO – NE
Pokud ano, jakému?
2. V jakém roce jsi se začala věnovat synchronizovanému plavání? Uveď rok i měsíc.
.....
3. Kolik hodin suché a mokré přípravy týdně jsi absolvovala v posledních třech letech?
Mokrý příprava 2023/2024 Suchá příprava 2023/2024
2022/2023 2022/2023
2021/2022 2021/2022
4. Jsi/ byla jsi zařazena do SCM či reprezentace? ANO – NE
Pokud ano, v jakých letech? (např. 2021 – současnost)
5. Věnuješ se/věnovala jsi se v posledních 3 letech i jinému sportu než synchronizovanému plavání?
ANO - NE
Pokud ano, jakému a kolik let se mu věnuješ?
Kolik hodin týdně se mu věnuješ? 2023/2024
2022/2023
2021/2022
6. Hraješ na dechový hudební nástroj nebo se věnuješ zpěvu? ANO - NE
Pokud ano, jakému a kolik let se mu věnuješ? V případě zpěvu napiš heslo „zpěv“.
.....
Kolik hodin týdně se mu věnuješ? 2023/2024
2022/2023
2021/2022

11.2 Informovaný souhlas

Informovaný souhlas

Název studie (projektu): Monitoring spirometrických ukazatelů u synchronizovaných plavkyň

Cílem projektu je monitoring spirometrických ukazatelů u synchronizovaných plavkyň. Konkrétně se projekt zaměřuje na posouzení změn v hodnotách vitální kapacity plic, FEV1, FVC a dalších spirometrických parametrů. Měření spirometrických parametrů u skupiny plavkyň bude provedeno před zahájením tréninkové jednotky. K měření bude použit přenosný spirometr CONTEC SP80B. Jedná se o neinvazivní, nebolestivé vyšetření. Účastnice projektu budou důkladně poučeny s postupem provádění testů a dodržování nezbytných hygienických pravidel spojených s jeho použitím. Při dodržení běžných hygienických opatření nepřináší spirometrie žádné zdravotní riziko.

Jméno:

Datum narození:

Účastník byl do studie zařazen pod číslem:

1. Já, níže podepsaný(á) souhlasím s mou účastí ve studii. Je mi více než 18 let. Pokud nedosahuji věku 18 let, souhlasím s účastí v této studii, a tento souhlas je potvrzen mým zákonným zástupcem.
2. Byl(a) jsem podrobně informován(a) o cíli studie, o jejích postupech, a o tom, co se ode mě očekává. Beru na vědomí, že prováděná studie je výzkumnou činností. Porozuměl(a) jsem tomu, že svou účast ve studii mohu kdykoliv přerušit či odstoupit. Moje účast ve studii je dobrovolná.
3. Při zařazení do studie budou moje osobní data uchována s plnou ochranou důvěrnosti dle platných zákonů ČR. Je zaručena ochrana důvěrnosti mých osobních dat. Při vlastním provádění studie mohou být osobní údaje poskytnuty jiným než výše uvedeným subjektům pouze bez identifikačních údajů, tzn. anonymní data pod číselným kódem. Rovněž pro výzkumné a vědecké účely mohou být moje osobní údaje poskytnuty pouze bez identifikačních údajů (anonymní data) nebo s mým výslovným souhlasem.
4. Porozuměl jsem tomu, že mé jméno se nebude nikdy vyskytovat v referátech o této studii. Já naopak nebudu proti použití výsledků z této studie.

Jméno a příjmení účastníka:

Podpis účastníka:

Datum:

V případě, že je účastník mladší 18 let:

Jméno a příjmení zákonného zástupce:

Podpis zákonného zástupce:

Datum:

Jméno a příjmení hlavního řešitele projektu:

Podpis hlavního řešitele projektu:

Datum:

11.3 Vyjádření etické komise



**Fakulta tělesné kultury
Univerzity Palackého
tř. Míru 115
OLOMOUC**

Vyjádření Etické komise FTK UP

Složení komise: doc. PhDr. Dana Štěrbová, Ph.D. – předsedkyně
Mgr. Ondřej Ješina, Ph.D.
doc. MUDr. Pavel Maňák, CSc.
Mgr. Filip Neuls, Ph.D.
Mgr. Michal Kudláček, Ph.D.
doc. Mgr. Erik Sigmund, Ph. D.
Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph. D.

Na základě žádosti ze dne 19. 3. 2015 byl projekt základního výzkumu

autora **PhDr. Michala Botka, Ph.D.** a spoluautorů **Mgr. Filipa Neulse, Ph.D.** a **Dr. Martina Sigmunda, Ph.D.**

s názvem **Hodnocení vegetativních a morfo-funkčních parametrů u trénované populace**

schválen Etickou komisí FTK UP pod jednacím číslem: 17 / 2015

dne: 23. 3. 2015.

Etická komise FTK UP zhodnotila předložený projekt a **neshledala žádné rozpory** s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směrnicemi pro výzkum zahrnující lidské účastníky.

Řešitelé projektu splnili podmínky nutné k získání souhlasu etické komise.

za EK FTK UP
doc. PhDr. Dana Štěrbová, Ph.D.
předsedkyně

razítko fakulty