UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU

Běžecká lokomoce v běžném a vodním prostředí

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Vypracoval:

PaeDr. Jitka Vindušková, CSc. **Radek Čuda**

Praha, Srpen 2014

Prohlašuji, že jsem tuto závěrečnou práci vypracoval samostatně a uvedl v ní veškerou literaturu a ostatní zdroje, které jsem použil.

V Praze, dne ……

podpis studenta

Poděkování

V první řadě chci poděkovat své vedoucí práce paní PaedDr. Jitce Vinduškové, CSc. za to, že se mnou měla trpělivost a věřila ve mě. Děkuji také paní PaedDr. Ireně Čechovské, CSc. za celkovou pomoc a podporu. Velké díky patří kolegům a kamarádům (Danovi, Radimovi, Tomášovi a Štěpánovi), kteří byli ochotni aktivně se podílet na měření. Poslední dík patří Petře za pomoc při krocení tabulek.

Evidenční list

Souhlasím se zapůjčením své závěrečné práce ke studijním účelům. Uživatel svým podpisem stvrzuje, že tuto závěrečnou práci použil ke studiu a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

Jméno a příjmení:	Fakulta / katedra:	Datum vypůjčení:	Podpis:

Abstrakt

BĚŽECKÁ LOKOMOCE V BĚŽNÉM A VODNÍM PROSTŘEDÍ

Cíle: Nabídnout ucelený pohled na možnosti využití různých typů běhu ve vodě pro tréninkové účely. Shrnout podstatné rozdíly mezi během ve vodě a klasickým během z pohledu fyziologie a biomechaniky.

Metody: Přehled dosavadních poznatků z literatury. Srovnávací analýza videozáznamů běhu v hluboké vodě a klasickém běhu pomalou a vysokou frekvencí. Předmětem analýzy byly změny úhlů v kyčelním (flexe a extenze), kolenním (flexe) a loketním (flexe) kloubu, předklon trupu a délka kroku.

Výsledky: Při běhu nízkou frekvencí dochází ve vodě k vetší flexi v kolenním (o 41,2°) i kyčelním kloubu (o 26,7°), většímu předklonu trupu (o 6,8°) a je kratší krok (o 1,61m). Při běhu vysokou frekvencí je ve vodě větší flexe v kolenním kloubu (o 32,9°), větší předklon trupu (o 9,3°) a kratší krok (o 1,71m). Při nízké frekvenci byly změny mezi podmínkami u všech subjektů podobnější než při vysoké frekvenci. Při porovnání běhu ve vodě nízkou a vysokou frekvencí byl náklon trupu větší u vysoké frekvence (o 9,6°) Ostatní výsledky nebyly jednoznačné.

Klíčová slova: běh ve vodě, fyziologie, biomechanika

Abstract

RUNNING LOCOMOTION IN COMMON AND WATER ENVIRONMENT

Objectives: To offer a comprehensive view how to use various types of water running for training purposes. Summarize the significant differences between the water and classic running with orientation on physiology and biomechanics.

Methods: Review of current knowledge from the literature. Comparative analysis of deep water running and classic running with slow and high frequency from video recordings. The aim of analysis were changes in the angles of the hip (flexion and extension), knee (flexion) and the elbow (flexion) joint, forward bending of the trunk and stride length.

Results: During low stride frequency running is in the water greater knee (+ 41.2 °) and hip (+ 26.7 °) flexion, trunk more bent (+ 6.8 °) and stride is shorter (by 1.61). During high stride frequency running is in the water greater knee flexion (+ 32.9 °), greater trunk forward bending (+ 9.3 °) and shorter stride (by 1.71). At low frequency were changes between conditions in all subjects more similar than at high frequency. When comparing the water running at low and high frequency the forward bending of the trunk was greater at high frequency (+ 9.6 °) Other results were not conclusive.

Keywords: water running, physiology ,biomechanics

Obsah

1 Úvod ... 8

2 Cíle a úkoly práce ... 9

3 Teoretická část ... 9

3.1 Běžecká lokomoce v běžném prostředí ... 9

3.2 Běžecká lokomoce ve vodním prostředí ... 12

3.2.1 Fyziologie – zátěžové parametry ... 14

3.2.2 Biomechanika ... 21

4 Praktická část ... 24

4.1 Metodika práce ... 24

4.2 Subjekty ... 24

4.3 Pořízení videozáznamů ... 25

4.4 Průběh natáčení ... 25

4.5 Zpracování videozáznamů – získání dat ... 26

5 Výsledky ... 26

6 Diskuse ... 31

7 Závěry ... 32

8 Přehled literatury ... 34

9 Seznam použitých zkratek ... 36

1 Úvod

V posledních letech stále častěji slýcháme o tom, že sportovci obecně často využívají pohybu ve vodě. Většinou to bývá spojeno s informací, že se jedná o rehabilitaci po nějakém zranění. Stále více se však mluví o tréninku ve vodě také jako o vhodném tréninkovém doplňku. U naprosté většiny sportů dochází na vrcholové úrovni k určitému přetěžování pohybového aparátu, které může vést k jeho vážnému poškození. Všichni sportovci by se tudíž měli snažit svou často jednostrannou zátěž kompenzovat pomocí speciálních cviků. Kromě kompenzačních cvičení, se používají a hledají další metody, které snižují jednostrannou zátěž nebo celkové zatížení částí pohybového aparátu. Právě v této sféře nám vodní prostředí nabízí četné možnosti. U běhu jsou asi nejproblematičtější složkou pohybového aparátu spojenou s přetěžováním klouby. I při správné běžecké technice musí klouby absorbovat značné množství energie způsobené nárazy na podložku. Běháním ve vodě můžeme kloubům značně ulevit. Obrovskou výhodou vodního prostředí je totiž hydrostatický vztlak, který nás nadnáší a snižuje tak hmotnostní zatížení pohybového aparátu.

Vodní prostředí nám díky svým odlišným vlastnostem nabízí i další speciální možnosti pro trénink běžců. Kromě hydrostatického vztlaku musíme počítat také s větším odporem vody a hydrostatickým tlakem. Vzhledem k tomu, že běžecká lokomoce je přirozeně ve vertikální poloze, ovlivňuje hydrostatický tlak funkci oběhového systému. Díky tomu, že hodnota tlaku roste s hloubkou, je usnadněn návrat odkysličené krve od dolních končetin zpět k srdci. Na druhou stranu je však obtížnější transport okysličené krve opačným směrem. Díky vyšší hustotě musíme ve vodním prostředí také překonávat vyšší odpor, díky čemuž můžeme z části lépe stimulovat silové schopnosti. Navzdory všem vyjmenovaným benefitům má běh ve vodním prostředí podstatný háček. Specifické vlastnosti vody totiž také významně ovlivňují běžeckou techniku, což je vzhledem k důležitosti techniky pro efektivitu lokomoce a dobrý výkon, nežádoucí.

V současné době existuje v zahraniční literatuře již velké množství studií, které se tématem běhu ve vodním prostředí zabývá. V našem prostředí však literární prameny na toto téma snad vůbec neexistují, a pokud ano, tak jsou jen značně povrchní a pro hlubší pochopení zcela nedostačující. Přestože v zahraničí bylo na dané téma publikováno již mnoho studií, není v některých oblastech zdaleka vyčerpáno.

2 Cíle a úkoly práce

Hlavním cílem práce je nabídnout ucelený pohled na možnosti využití různých typů běhání ve vodě především pro tréninkové účely. Úkolem teoretické části je poskytnout širokou základnu již známých poznatků o běhu ve vodě ve všech jeho podobách. Stěžejní je vysvětlení odlišné fyziologie při běhání na souši a ve vodním prostředí a také vlivu vodního prostředí na biomechaniku běhu. Porozumění odlišné fyziologii zátěže je základním předpokladem pro správné dávkování zatížení při použití alternativního běžeckého tréninku ve vodě. Z důvodu, že na téma fyziologie bylo vypracováno již velké množství studií, ale na téma biomechaniky pouze pár, je praktická část zaměřena právě na biomechaniku. Vzhledem k omezeným prostředkům a zkušenostem si praktická část neklade za úkol vytvoření detailního biomechanického rozboru. Jejím úkolem je pouze orientační porovnání techniky běhu na souši a ve vodě a také poučení pro další výzkumnou činnost v této oblasti.

3 Teoretická část

3.1 Běžecká lokomoce v běžném prostředí

Běh je pro člověka jednoznačně nejpřirozenější a nejzákladnější sportovní aktivitou. Podle Tvrzníka a Soumara (2012) je běh multifunkční vědecký obor zahrnující fyziologii, biochemii, anatomii, biomechaniku a psychologii, který má jako celek asi nejblíže k preventivní medicíně. Existují rozporuplné názory na prospěšnost běhu pro lidské zdraví, podpořené řadou studií. Nejlépe jejich výsledek shrnuje Roberts (2014), který ve své knize říká: „Ze všech provedených analýz a výzkumů vyplývá pouze jedna jistota – lidské tělo je uzpůsobeno k běhu, tečka.“ Ačkoli neexistuje jednoznačný názor na prospěšnost či škodlivost běhu, všichni autoři se shodují, že pro maximální prospěch je zapotřebí správná technika běhu, protože správná technika běhu rovná se zdravá technika běhu (Tvrzník a Soumar 2012). Je zapotřebí si uvědomit, že neexistuje jedna univerzální běžecká technika. Podoba optimální techniky je dána především rychlostí běhu a účelem, proč jedinec běhá. Tato práce se zabývá především vytrvaleckou technikou běhu. Popisy správné techniky, kromě nejednotného názoru na způsob došlapu, jsou u všech autorů podobné. Kritéria hodnocení běžecké techniky jsou poloha hlavy a trupu, práce paží, poloha pánve a zapojení kotníků, přičemž jednou z nesledovanějších poloh je ta v oporové fázi (Tvrzník a Soumar 2012). Pro srovnání uvádím alespoň dva popisy správné běžecké techniky.

Wöllzenmüller (2006)

Chodidlo by mělo došlapovat co nejblíže tělesnému těžišti, což lze pouze při došlapu na jeho střední nebo přední část. Došlap před těžiště je nutně veden přes patu a může dlouhodobě vést k obtížím s chodidly, nohama a páteří. Délka kroku závisí na rychlosti běhu a individuálních tělesných předpokladech. Příliš dlouhý krok vede k předčasné únavě a k došlapům před tělesným těžištěm. Trup držíme zpříma, spíše mírně nakloněný dopředu. Nepředkláníme se ani neprohýbáme záda. Boky jsou vepředu. Hlavu nepředkláníme ani nezakláníme. Paže se pohybují rovnoběžně se směrem běhu. Nepohybujeme s nimi před tělem ani je nezvedáme příliš vysoko. Ruce nejsou v žádném případě sevřené v pěst, držíme je volně. Paže tvoří v lokti téměř pravý úhel.

Porovnání techniky běhu a joggingu (Tvrzník a Soumar 2012)

	Moment vertikály	**Dokončení odrazu**
BĚH	Dochází k lehkému pokrčení stojného kolena, trup je v mírném předklonu, zadní noha se pohybuje směrem k hýždím, přičemž se dostává poměrně vysoko a následně se sbaluje pod trup.	Charakteristický je dokončený odrazový nápon ve všech třech kloubech (kotník, koleno, kyčel). Koleno švihové nohy se dostává poměrně vysoko (stehno někdy i rovnoběžně se zemí). Trup je stále v mírném náklonu vpřed. Paže za trupem svírají úhel 90 stupňů mezi pažemi a trupem je viditelná skulina.
JOGGING	Pro jogging je typické výraznější pokrčení stojného kolena a současně i větší vysazení pánve, což vede k „sezení“. I v tomto případě se trup dostává do mírného předklonu. Zanožená noha se dostává jen nízko nad zem.	Nedochází k tak výraznému odrazovému náponu, což se projevuje pokrčeným kolenem, k úplnému propnutí nedochází ani v kyčli, méně se zapojují hýždě. V tomto momentě se chodidlo přední (švihové) nohy nachází jen těsně nad zemí a mírně před trupem. Švihové koleno se rozhodně nedostává tak vysoko a dopředu před trup jako u běhu, pasivnější je i zapojení bérce.
Jogging je plynulý déle trvající běh nízké až střední intenzity, pro nějž je charakteristické intenzivní spalování tuků (Tvrzník a Soumar 2004).		

Má-li být běh co nejprospěšnější pro zdraví a zároveň také efektivní, musí být kromě správné techniky naplněny také následující tři body (Tvrzník a Soumar 2012)

- Velmi důležitým předpokladem je, aby se svaly uměly do pohybu zapojit včas, přesněji řečeno z hlediska plynulého pohybu ve správný časový okamžik
- Musí být dobře vyvinuté svalstvo trupu, protože pokud trup není dostatečnou oporou, nemají končetiny stabilní osu otáčení, a proto se nemohou efektivně pohybovat střídavě vpřed a vzad. Kromě toho svalový korzet stabilizuje páteř a vnitřní orgány, čímž vytváří podstatně příznivější podmínky pro jejich fungování
- Technika běhu je ovlivněna stavbou kostry a jednotlivých velkých kloubů. Zejména to platí o fyziologických poměrech tří hlavních kloubů dolních končetin kyčel – koleno – hlezno, které doplňuje ještě samotná noha. Spolupráce těchto kloubů pro běžce představuje hlavní tlumič nárazů při došlapu, a proto má jeho funkce při běhu zcela zásadní význam. Tato soustava však funguje efektivně pouze při splnění určitých biomechanických podmínek, příznačných pro správnou techniku běhu, a při správné funkčnosti jednotlivých součástí pohybového systému.

Správná technika sice snižuje pravděpodobnost zranění způsobeného běháním, ale zcela eliminovat ho nemůže. Podle Robertse (2014) různé zdroje uvádějí, že zranění související s během postihují mezi 24 a 77% všech běžců. Nejčastějšími zraněními jsou zánět Achillovy šlachy (achillodynie), bolest chodidel (plantární aponeuróza) zánět okostice, syndrom tibiální hrany, běžecké koleno (femoropatelární snydrom), bolest v tříslech, únavová zlomenina, syndrom iliotibiálního traktu (Tvrzník a Soumar 2012, Roberts 2014). Hlavní podíl na těchto zraněních mají nárazy na tvrdý povrch. V závislosti na rychlosti běhu a délce kroku dochází k 800-2000 nárazů za míli (1,6 km), přičemž během každého z nich musí pohybový aparát odolávat až čtyřnásobku své váhy (Young a Press 1994 in Brennan 2014). Většina zranění může být přičtena špatné volbě tréninkového zatížení (množství a intenzitě). Každý má svůj takzvaný ortopedický limit, což je maximální týdenní kilometráž, kterou je jeho pohybový aparát schopen odtlumit. Tento limit je dán především trénovaností, individuální biomechanikou, historií zranění a genetikou. Výzkum ukázal, že se hranice ortopedického limitu pohybuje kolem 48 km (30 mil) za týden. Překročení tohoto limitu zvyšuje pravděpodobnost zranění o více než 55% (Brennan a Wilder 1996 in Brennan 2014). U špičkových vytrvalců se díky jejich dlouhodobé přípravě a vysoké trénovanosti bude ortopedický limit pohybovat zajisté

mnohem výše než zmiňovaných 48 km, ale ani u nich není možné bez rizika neustále navyšovat počet nabíhaných km. Z toho důvodu je potřeba zařazovat také doplňkový trénink. Mnoho autorů (např. Tvrzník a Soumar 2012, Wöllzenmüller 2006) doporučuje jako velmi vhodnou aktivitu plavání a to především z následujících důvodů:

- posilují se při běhu zanedbávané svalové skupiny
- nároky na velké svalové skupiny přinášejí velmi dobrý trénink srdce a oběhového systému
- díky vodnímu vztlaku je tělo odlehčeno a zatížení kloubů je šetrné

Ještě vhodnější než plavání je však pro tréninkové účely běžců běh ve vodě, protože se jedná o doplňkový trénink s vysokou mírou specifičnosti cvičení. Díky svým vlastnostem je navíc vodní prostředí vhodné také pro již zraněné běžce. Možnosti využití běhu ve vodě a jeho přínosy shrnuje tabulka 1.

Tabulka 1Možnosti použití DWR a jeho benefity (Cable 2000 in Reilly, Dowzer a Cabel 2010)

Specifická skupina	Účel	Benefity
zranění	rehabilitace	prevence proti poklesu trénovanosti, urychlení rehabilitace
hráči ve sportovních hrách	zotavení od bolesti s pozdním nástupem	urychlení zotavení po zápase, podpůrné bezbolestné cvičení, udržení flexibility
atleti	doplňkový trénink	snížení pravděpodobnosti přetrénování, vysoká specifičnost cvičení
netrénovaní	aerobní a silový trénink	snížení pravděpodobnosti zranění způsobených nárazy na tvrdý povrch, nárůst síly ramen
tělesně oslabení	zlepšení pohyblivosti	nehrozí nebezpečí pádu, pocit pohodlí a bezpečí
s nadváhou	aerobní trénink	snížení hmotnosti díky nárůstu energetického výdeje, nízké zatížení kloubů, cvičení bez omezení

3.2 Běžecká lokomoce ve vodním prostředí

Podle Denninga a kol. (2012) jsou čtyřmi nejpoužívanějšími způsoby cvičení ve vodě běh v hluboké vodě (DWR – deep water running), běh v mělké vodě (SWR –

shallow water running), vodní gymnastika (WC – water calisthenics) a běh ve vodě na běžeckém pásu (WTR – water treadmill). Tyto způsoby cvičení jsou Denningem a kol. (2012) stručně charakterizovány následovně.

DWR: Běh je prováděn v hluboké vodě tak, že při něm nedochází ke kontaktu chodidla se dnem. Typický je velmi pomalý horizontální posun vpřed. Často jsou používány speciální nadnášecí pomůcky, které běžci zajišťují především pohodlnou polohu hlavy nad hladinou. Nejběžnějšími pomůckami jsou nadnášecí běžecké pásy a vesty různých firem (viz obr. 1 a 2).

Obrázek 1 Aquajogger pro belt

Obrázek 2 Wet vest II

SWR: Nejběžněji je používána hloubka na úroveň xiphoidu. Díky této hloubce a hlavně díky kontaktu se dnem je běžec poměrně dobře schopen pohybovat se vodou vpřed. Vzhledem ke kontaktu se dnem nejsou též zapotřebí žádné nadnášecí pomůcky.

WTR: Pro tento způsob cvičení se používají speciální běžecké pásy ponořené ve vodě (viz obr. 3 a 4). Některé modely jsou vybaveny nastavitelnými vodními tryskami, které umožňují regulaci sil, způsobených vertikálními nárazy na pás. Díky regulaci těchto sil a regulaci horizontálního odporu se při tomto způsobu dá nejlépe regulovat intenzita zatížení.

Obrázek 2 Aquaciser III

Obrázek 4 Hydroworx 500

3.2.1 *Fyziologie – zátěžové parametry*

Ještě před porovnáváním fyziologické odezvy organismu při běhání na suchu a různých typech běhání ve vodě, je zapotřebí shrnout, jak na nás působí vodní prostředí samo o sobě. Specifické vlastnosti vody souvisí s její hustotou, která je až 776× hustší než vzduch (DiPrampero 1986 in Killgore a kol. 2010). Hlavními vlastnostmi, které způsobují změnu fyziologické odezvy, jsou v klidu hydrostatický tlak, hydrostatický vztlak a teplota vody. Při pohybu ve vodě nás významně ovlivňují ještě hydrodynamický vztlak a odpor vodního prostředí, který se dělí na třecí, vlnový a tvarový (Čechovská a Miler 2001).

Hydrostatický tlak, jehož hodnota roste s hloubkou, ovlivňuje především oběhový systém, protože ve vertikální poloze působí na dolní končetiny znatelně vyšší tlak než na zbytek těla. Díky tomu se zvyšuje srdeční výkon o 30-35% (Arborelius a kol. 1972, Christie 1990 in Reilly, Dowzer a Cable 2003). Jelikož je hydrostatický tlak v porovnání s atmosférickým vyšší, ovlivňuje mechaniku dýchání a to tak, že klade zvýšený nárok na nádechové svalstvo.

Hydrostatický vztlak je hlavní důvod, proč běhat ve vodě. Působí totiž v opačném směru než gravitační síla a díky tomu snižuje hmotnostní zatížení pohybového aparátu. Tabulka 2 znázorňuje vertikální a horizontální reakční síly během SWR v různé hloubce a různou rychlostí.

Tabulka 2 Síly způsobené nárazy na zem při SWR různou rychlostí a v různé hloubce (Haupenthal a kol. 2012)

Rychlost		pomalu		rychle	
	Hloubka	M	Ž	M	Ž
F_y (BW ± s)	po kyčel	0,84 ± 0,31	0,91 ± 0,13	0,97 ± 0,16	1,16 ± 0,20
	po hrudník	0,69 ± 0,32	0,87 ± 0,22	0,73 ± 0,28	0,95 ± 0,27
	po kyčel	0,15 ± 0,03	0,18 ± 0,04	0,30 ± 0,06	0,41 ± 0,08
F_x (BW ± s)	po hrudník	0,20 ± 0,04	0,21 ± 0,05	0,24 ± 0,06	0,30 ± 0,09

F_y – horizontální síla, F_x – vertikální síla, BW – tělesná hmotnost
Hodnoty jsou průměrné a s *je normalizována vzhledem k individuální tělesné hmotnosti subjektů.*

Teplota vody, která neovlivňuje fyziologické funkce (tzv. termoneutrální teplota) se v klidu pohybuje v rozmezí 33-35,8°C. Pokud je teplota vody nižší, dochází k vazokonstrikci periferních částí těla. Naopak pokud je teplota vyšší, dochází k vazodilataci periferií. (Epstein 1976 in Reilly, Dowzer a Cable 2003). Termoneutrální teplotu vody při fyzické aktivitě ovlivňuje složení těla a intenzita zatížení, která přímo

ovlivňuje zvýšenou produkci tepla. Nižší než termoneutrální teplota také snižuje srdeční frekvenci. Pro standartní bazénovou teplotu (asi 26,5°C) odečítají plavci od HR_{max} 10 tepů za minutu (Čechovská, Jurák a Pokorná 2012). Tento termoregulační reflex je vysvětlován stimulací receptorů pro chlad (Noakes, 2002 in Reilly, Dowzer a Cable 2003). Z hydrodynamických sil nás bude zajímat především odpor, protože je již na první pohled zřejmé, že při běžecké lokomoci ve vodě nedochází ke vzniku významného hydrodynamického vztlaku. Naopak odpor vodního prostředí klade během pohybu zvýšené nároky na aktivně zapojené svalstvo. Je třeba také podotknout, že hodnota odporu roste s rychlostí pohybu (Čechovská a Miler 2001).

Následující souhrn rozdílů ve fyziologické odezvě mezi během na suchu a různými typy běhu ve vodě je udělán pomocí tabulek. Protože téma této práce je porovnání běžecké lokomoce obecně, není souhrn zcela vyčerpávající, ale pro uvědomění si rozdílných principů z hlediska kontroly intenzity cvičení dostačující. V dnešní době existuje již poměrně velké množství studií porovnávajících běh ve vodě a na suchu z hlediska fyziologické odezvy organismu. Denning a kol. (2012) zpracovali dosud jedno z nejpřehlednějších porovnání mnoha vybraných studií (viz tabulka 3)[1]. Z uvedených studií vyplývá, že hodnota VO_{2max} je u všech typů běhání ve vodě nižší než při běhání na suchu, přičemž při DWR jsou hodnoty nižší než při SWR a WTR. Town a Bradley (1991) uvádějí jako jednu z hlavních příčin skutečnost, že při DWR nedochází ke kontaktu se zemí, kdežto při SWR a WTR ano. Síla Denningovy tabulky porovnávající odlišnosti zátěžové fyziologie je v popisu podmínek, ve kterých byla data jednotlivých studií naměřena. Postrádá ale větší soubor sledovaných fyziologických ukazatelů. Srovnání výsledků studií při maximálním zatížení z hlediska srdeční frekvence (HR), poměru respirační výměny (RER), Borgovy hodnoty vnímané námahy (RPE) a hladiny laktátu nabízí tabulka 4. Z té vyplývá, že HR_{max} je při DWR vždy nižší než při TR. U většiny studií byla naměřena také nižší hodnota RER a hladina laktátu. Pouze u jedné studie byly tyto dvě hodnoty vyšší u DWR proti TR. Pro dosažení co nejbližší fyziologické odezvy se ukazuje být důležitým předpokladem dostatečný zácvik a adaptace na specifickou běžeckou techniku ve vodním prostředí (viz tabulky 5 a 6).

[1] Pouze tučně zvýrazněné studie v tabulkách, které shrnují výsledky více studií, se mi podařilo sehnat v plném znění, a proto jsou jen tyto studie citovány v textu a uvedené v seznamu literatury.

Tabulka 3 Popis studií porovnávajících změny v RPE a VO2 během různých typů běhu ve vodě oproti běhu na suchu (Denning a kol., 2012)

Studie	Typ cvičení	Probandi	Intenzita zatížení	Hloubka	Teplota	RPE	VO_2
Butts a kol. 1991a	DWR	12 trénovaných M a 12 trénovaných Ž	počáteční HR 100 $b.min^{-1}$, každé 2 min. + 20 $b.min^{-1}$	po krk	29 °C	neměřeno	VO_{2max} ve vodě nižší Ž o 16%, M o 10%
Butts a kol. 1991b	DWR	12 krosových běžkyň středoškolaček	počáteční HR 100 $b.min^{-1}$, každé 2 min. + 20 $b.min^{-1}$	po krk	29 °C	bez rozdílu	VO_{2max} o 17% nižší při DWR
Mercer a Jensen 1997	DWR	12 Ž a 14 M	1 min. úseky s rostoucí zátěží o 0.57 kg	po krk	27 °C	neměřeno	VO_{2max} nižší při DWR
Nakanishi, Kimura a Yokoo 1999a	DWR	20 nekuřáků M	4 min. rozcvičení 48 $cyklů.min^{-1}$, 66 $cyklů.min^{-1}$ + 3-4 každé 2 min.	neuvedena	32,5 °C	bez rozdílu při max. zatížení	VO_{2max} u DWR průměrně o 20% nižší
Nakanishi a kol. 1999b	DWR	14 mladých M a 14 M ve středním věku	4 min. rozcvičení 48 $cyklů.min^{-1}$, 66 $cyklů.min^{-1}$ + 3-4 každé 2 min.	neuvedena	32,5 °C	bez rozdílu při max. zatížení	M ve středním věku o 27% a mladí M o 21% nižší při DWR
Glass a kol. 1995	DWR	10 M a 10 Ž	z 80 $kroků.min^{-1}$ na 120 $kroků.min^{-1}$ do vyčerpání	po krk	neuvedena	neměřeno	VO_{2max} o 11% nižší při DWR
Matthews a Airey 2001	DWR	6 M a 4 Ž	60%, 70% a 80% HR rezervy	po sternum	30 °C	vyšší u všech rychlostí	-

Tabulka 3 pokračování

Studie	Typ cvičení	Probandi	Intenzita zatížení	Hloubka	Teplota	RPE	VO_2
Svendehag a Seger 1992	DWR	10 trénovaných M	4 submax. zatížení a max. úsilí	po krk	neuvedena	vyšší u všech rychlostí	VO_{2max} o 14% nižší při DWR
Chu a kol., 2002	DWR	9 mladých a 9 starších Ž	rostoucí každou min. do max. úsilí	po krk	28 °C	neměřeno	VO_{2max} nižší u obou skupin
Dowzer a kol. 1999	DWR a SWR	15 trénovaných M běžců	DWR – 120 kroků.min^{-1} SWR – 132 kroků.min^{-1}	DWR – po bradu SWR – po pas	29 °C	neměřeno	VO_{2max} u SWR 83,7% a u DWR 73,3% oproti TR
Town a Bradley 1991	DWR a SWR	7 běžců a 2 běžkyně	rostoucí každou min., poslední 2 min. max. úsilí	DWR – 2,5-4 m SWR – 1,3 m	neuvedena	neměřeno	VO_{2max} u SWR 90,3% a u DWR 73,5% oproti TR
Takeshima a kol. 1997	SWR	18 postarších	subjektivně zvolená nízká, střední a vysoká	do podpaží	30 °C	bez rozdílu	bez rozdílu při nízké a střední intenzitě, ale nižší u vysoké intenzity
Pohl a McNaughton 2003	WTR	6 students	1,11 m.s^{-1} a 1,94 m.s^{-1}	po stehno a po pas	33 °C	neměřeno	nejvyšší VO_2 u hloubky po stehno > hloubka po pas > TR

Tabulka 4 Maximální fyziologické odezvy při TR a DWR (Reilly, Dowzer a Cable 2003)

Studie	Probandi	Typ cvičení	VO_{2max} ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$)	HR_{max} (bpm)	RER_{max}	RPE_{max}	Laktát ($mmol.l^{-1}$)
Glass, 1987	20	TR	53,1	189	0,94		11,2
		DWR	47,1	174	0,98		14,9
Frangolias a Rhodes, 1995	13	TR	59,7	190	1,20	20	10,4
		DWR	54,6	175	1,10	20	9,8
		DWR					
Michaud a kol., 1995a	10	TR		189	1,28	9,1[b]	
		DWR		175	1,24	9,9[b]	
Michaud a kol., 1995a	8	TR		184	1,05	9[b]	
		DWR		169	1,00	9[b]	
Svendehag a Seger, 1992	9	TR		188	1,20	17	12,4
		DWR		172	1,10	17	10,0
Butts a kol., 1991b	12	TR	54,7	198	1,05	19	
		DWR	46,8	180	1,01	19	
Town a Bradley, 1991	9	TR	67,0	183	1,14		7,9
		DWR	49,0	157	1,05		6,4
Butts a kol., 1991a	12 M	TR	64,5	193	1,15		
		DWR	58,4	183	1,11		
	12 Ž	TR	55,7	189	1,13		
		DWR	46,8	180	1,09		

[b] *- Borgova škála 1-10*

Tabulka 5 Maximální fyziologická odezva adaptované a neadaptované skupiny při TR a DWR (± s), (Azevedo a kol. 2010)

	TR neadaptovaní	DWR neadaptovaní	TR adaptovaní	DWR adaptovaní
VO_{2max} ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$)	55,1 ± 4,2	44,3 ± 3,3	53,8 ± 6,0	48,3 ± 8,4
HR_{max} ($b.min^{-1}$)	186 ± 11	172 ± 13	186 ± 9	177 ± 11
RPE_{max}	18 ± 2	19 ± 1	18 ± 2	19 ± 1
RER_{max}	0,99 ± 0,11	0,97 ± 0,14	1,10 ± 0,11	1,09 ± 0,12
nejvyšší laktát ($mmol.l^{-1}$)	9,3 ± 2,0	8,0 ± 1,2	9,6 ± 1,9	7,0 ± 1,4

Tabulka 6 Fyziologická odezva adaptované a neadaptované skupiny na úrovni ventilačního prahu (VT) při TR a DWR (± s), (Azevedo a kol. 2010)

	TR neadaptovaní	DWR neadaptovaní	TR adaptovaní	DWR adaptovaní
VO_2 při VT ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$)	41,0 ± 4,1	31,9 ± 7,4	40,4 ± 6,2	36,1 ± 4,8
HR při VT ($b.min^{-1}$)	163 ± 19	149 ± 22	161 ± 15	151 ± 14
RPE při VT	13 ± 2	13 ± 1	14 ± 2	13 ± 2
RER při VT	0,81 ± 0,08	0,83 ± 0,10	0,95 ± 0,06	0,90 ± 0,12
% VO_{2max} při VT	74,5 ± 6,8	71,7 ± 14,4	75,3 ± 10,0	75,5 ± 7,4

Z tabulek znázorňujících vliv adaptace na velikost rozdílu mezi fyziologií při běhu ve vodě a na suchu vyplývá, že u neadaptovaných osob dochází ve všech parametrech k většímu poklesu a to jak při maximálním zatížení tak při zatížení na úrovni VT. Další možností, jak zvýšit efektivitu DWR a připodobnit ho tak z hlediska fyziologie ještě více běhu na suchu, je použití speciální běžecké obuvi (ATS – aquatic training shoes, viz obr. 5). Z tabulky 7 vyplývá, že obuv prokazatelně zvyšuje intenzitu cvičení během DWR. Výsledky ukazují při použití ATS nárůst ve všech měřených parametrech. Kromě HR, která se však s ATS značně blíží hodnotě TR, jsou při použití bot dokonce všechny hodnoty vyšší než při běhu na suchu. Kromě Killgora a kol. (2010) zkoumal vliv obuvi také Rife a kol. (2010). Při druhém zmiňovaném výzkumu byl však použit jiný typ cvičení a proto uvádím i jeho výsledky (viz tabulka 8). U daného výzkumu je mimo jiné zajímavé také genderové porovnání naměřených hodnot. I tato studie prokázala, že obuv zvyšuje při

Obrázek 5 AQine

Tabulka 7 Srovnání fyziologické odezvy při TR, DWR s použitím ATS a DWR naboso (Killgore a kol. 2010)

	TR	DWR naboso	DWR s ATS
Energetický výdej (kcal)	13,5 ± 1,2	13,0 ± 1,0	14,2 ± 1,3
VO_2 ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$)	42,0 ± 1,7	39,9 ± 1,0	43,2 ± 2,8
VO_{2max}%	64,8 ± 0,2	61,6 ± 0,2	66,8 ± 0,4
HR ($b.min^{-1}$)	155,3 ± 11,0	149,1 ± 14,9	153,8 ± 13,5
RER	0,89 ± 0,04	0,94 ± 0,03	0,96 ± 0,03
RPE (Borg's 6-20)	11,6 ± 1,2	14,1 ± 0,7	14,6 ± 0,7
Hodnoty jsou průměrné ± s			

Tabulka 8 Porovnání zátěžových parametrů při TR, WTR s ATS, WTR naboso a mezi pohlavími (Rife a kol. 2010)

	TR	WTR s ATS	WTR bez ATS	napříč podmínkami	
				M	Ž
VO_2 při HR 150 bpm ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$)	34,66	37,51	37,21	40,52	32,40
$\%VO_{2max}$ při 75% HR_{max}	58,82	63,71	63,17	63,44	60,36
SF při rychlosti 9,7 $km.h^{-1}$ ($krok.min^{-1}$)	z grafu cca 80	- 23,6 z TR	- 21,8 z TR	bez rozdílu	

běhu ve vodě zátěž. Výsledné hodnoty jsou sice ve vztahu ke stejné hodnotě HR velmi podobné, jak vyplývá s tabulky, ale ve vztahu ke stejné rychlosti byla hodnota VO_2 s použitím ATS o 4.12 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ vyšší než naboso. Studie také ukazuje, že při WTR lze dosáhnout vyšších hodnot HR a VO_2 než při běhu na suchu (Rife a kol. 2010). Ve srovnání mužů a žen je také evidentní rozdíl. Muži dosahují vyšších hodnot než ženy, což je způsobeno pravděpodobně rozdílnou hustotou různých částí těla. Je totiž známo, že ženy se díky tomu ve vodě vznášejí lépe než muži (Čechovská a Miler 2001). Již v úvodu části věnované běžecké lokomoci ve vodě bylo zmíněno, že při WTR se dá nejlépe regulovat intenzita zatížení. Zároveň bylo řečeno, že při SWR a WTR jsou maximální zátěžové hodnoty vyšší než při DWR. Pohl a McNaughton (2003) spojili podstatu těchto dvou typů cvičení dohromady a porovnávali hodnoty naměřené při WTR v různých hloubkách (viz tabulka 9).[2] Z výsledků vyplývá, že menší hloubka umožňuje lepší stimulaci fyziologických funkcí, což autoři vysvětlují tím, že hloubka po stehno není dostačující pro vznik velkého vztlaku, a že v hloubce po prsa je ponořená centrální část těla, díky čemuž dochází ke zpomalení metabolismu. Zároveň i tato studie podporuje

Tabulka 9 Srovnání fyziologické odezvy při TR a WTR v různých hloubkách (± s), (Pohl a McNaughton 2003)

	TR	WTR po stehno	WTR po pas
VO_2 ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$)	23,64 ± 0,84	39,39 ± 8,11	30,48 ± 4,54
HR ($b.min^{-1}$)	124 ± 7	162 ± 10	130 ± 4
RER	0,88 ± 0,66	0,85 ± 0,07	0,85 ± 0,04
SF ($krok.min^{-1}$)	149 ±12	143 ± 11	122 ± 12
VO_2/krok ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$)	0,16 ± 0,03	0,28 ± 0,06	0,25 ± 0,05

[2] Výsledky této studie jsou sice stručně uvedeny v souhrnu Denninga a kol. (2012), ale jelikož je považuji za podstatné, uvádím je ve vetší šíři.

tvrzení, že při WTR lze dosáhnout vyšších hodnot HR a VO_2 než při běhu na suchu.

3.2.2 Biomechanika

Jak již bylo řečeno v úvodu, většina studií porovnávajících běh ve vodním a běžném prostředí je zaměřena na fyziologickou stránku věci. Ve srovnání s tím se otázkou biomechaniky zabývá pouze malý počet studií. Většina těchto studií navíc řeší pouze délku a frekvenci kroků označovanou také jako kadenci (SF – stride frequency). I v tomto směru udělal zatím nejpřehlednější souhrnné srovnání Denning a kol. (2012), (viz tabulka 10). Co se týče délky kroku, bylo zjištěno, že při SWR je délka kroku významně nižší, ale při chůzi na WTR je krok delší než při chůzi na suchu. Frekvence kroků byla při běhu ve vodě naměřena u všech studií nižší než při běhu na suchu. Killgore ve své práci (2003) uvádí, že existují v zásadě dvě techniky běhu ve vodě. První je běh s vysokými koleny, kde noha pracuje jako píst nahoru a dolů, a která je sktrukturou pohybu spíše podobná běhu do schodů. Druhou techniku pak Killgore označuje jako cross-country a považuje ji za mnohem bližší a podobnější klasickému běhu. Na tom se ve výsledcích dotazníku shodli také účastníci pozdější studie Killgora a kol. (2010), kteří navíc uvedli, že podobnost této techniky vůči klasickému běhu podporuje použití ATS. Hlavním rozdílem mezi technikami s vysokými koleny a cross-country je horizontální posun kotníku, ke kterému při technice cross-country dochází ve velkém rozsahu a při technice s vysokými koleny k němu nedochází prakticky vůbec (Killgore 2003). Jelikož byla technika cross-country shledána nejoptimálnější možností, uvádím níže její popis.

<u>Cross-country technika (Killgore a kol. 2010)</u>

Použití nadnášecí pomůcky tak, aby byla voda po ramena. Hlava je v neutrální pozici, oči se dívají rovně vpřed. Tělo je lehce nakloněno dopředu. Pohyb paží je stejný jako na suchu tzn. 90° flexe v lokti švihový pohyb z ramene. Dlaně jsou volně sevřené v pěst a nesmí docházet k hrabavému pohybu. Flexe v kyčelním kloubu je přibližně 60-80° a extenze zhruba 175°. Úhel chodidla v kotníku se pohybuje od 0° dorzální flexe při plné flexi v kyčli po 50-70° plantární flexe při plné extenzi dolní končetiny. Soustředit se na horizontální posun kotníku – vykývnutí bérce.[3]

[3] Úhel v kyčelním kloubu je měřen ve vztahu k vertikále kolmé k zemi a procházející středem kyčelního kloubu. Flexe je vztažena k části vertikály pod středem kyčelního kloubu a extenze k části nad ním.

Tabulka 10 Popis studií porovnávajících změny v délce a frekvenci kroků během různých způsobů cvičení ve vodě oproti cvičení na suchu (Denning a kol. 2012)

Studie	Typ cvičení	Probandi	Intenzita zatížení	Hloubka	Teplota	Délka kroku	Frekvence kroků
Killgore a kol. 2006	DWR	20 vytrvalostních běžců	60% TR VO_{2max}	3,96 m	27,2 °C	neměřena	Obě techniky, s vysokými koleny i cross-country, nižší přičemž vysoká kolena jsou bližší TR
Masumoto a kol., 2009	DWR	3 zdraví M a 4 zdravé Ž	RPE 11, 13, 15	dostatečná, aby nedošlo ke kontaktu se dnem	28 °C	neměřena	rostoucí s vyšší RPE, ale průměrně o 49% nižší
Frangolias a Rhodes 1995	DWR	13 elitních vytrvalostních běžců (8 M, 5 Ž)	Počáteční zátěž 500 a 750 g + 400 g/min. Zátěž byla umístěna v kyblíku	po krk	28 °C	neměřena	významně nižší
Barela a Duarte 2008	SWR	10 starších (6 M, 4 Ž)	subjektivně zvolená	po Xiphoid	neuvedena	významně nižší	významně nižší
Barela a kol. 2006	SWR	10 zdravých dospělých (4 M, 6 Ž)	subjektivně zvolená	po Xiphoid	neuvedena	bez rozdílu	významně nižší

Tabulka 100 pokračování

Studie	Typ cvičení	Probandi	Intenzita zatížení	Hloubka	Teplota	Délka kroku	Frekvence kroků
Town a Bradley 1991	DWR a SWR	9 trénovaných běžců (7 M, 2 Ž)	Rostoucí po minutě. Poslední 2 min. max. vypětí	DWR 2,5 4 m SWR 1,3 m	neuvedena	neměřena	vyšší frekvence při SWR než DWR (TR nejvyšší)
Masumoto a kol. 2008	WTR (chůze)	9 starších Ž	0,33; 0,5; a 0,67 $m.s^{-1}$ (poloviční oproti suchu)	po Xiphoid	31 °C	větší při srovnávaných rychlostech	nižší při všech rychlostech
Kato a kol. 2001	WTR (chůze a běh)	6 M	Rostoucí 0,56 $m.s^{-1}$ – 3,33 $m.s^{-1}$	po pás	29 °C	neměřena	nižší při rychlostech 1,11; 2,22; 2,78 a 3,33 $m.s^{-1}$
Hall a kol. 1998	WTR (chůze a běh)	8 Ž	0,97; 1,25 a 1,53 $m.s^{-1}$	po Xiphoid	28 °C a 36 °C	neměřena	o 27 kroků za min. nižší při všech rychlostech
Pohl a McNaughton 2003	WTR (chůze a běh)	6 studentů	1,11 a 1,94 $m.s^{-1}$	po stehno a po pás	33 °C	neměřena	Podobná za všech podmínek při chůzi, ale o 20 kroků za min. nižší při běhu ve vodě po pás.

Podrobněji se srovnání biomechanických rozdílů v běžecké technice ve vodě a na suchu věnují Kilding, Scott a Mullineaux (2007), kteří porovnali úhly v kolenním a kyčelním kloubu v maximální flexi a extenzi při běhu ve vodě a na zemi. Výsledky jejich měření znázorňuje tabulka 11. Úhel v kyčli byl měřen jako úhel mezi stehnem a vertikálou (flexe kladná, plná extenze = 0°) a úhel v koleni jako úhel mezi stehnem a bércem (flexe pozitivní, plná extenze = 180°). Z dat lze vyčíst, že v kyčelním kloubu došlo u obou rychlostí ve vodě k větší flexi a menší extenzi, což znamená, že před tělem se stehno dostalo výše než na zemi a v momentě dokončení náponu se noha nedostala za tělo. V kolenním kloubu pak ve vodě došlo k větší flexi i extenzi, což znamená, že se bérec dostal blíže ke stehnu a v momentě ukončení náponu došlo k neúplné extenzi ve srovnání s během na zemi.

Tabulka 11 Porovnání úhlů v kyčelním a kolenním kloubu v maximální flexi a extenzi při DWR a běhu na zemi ve dvou různých rychlostech (Kilding, Scott a Mullineaux 2007)

Rychlost		pomalu		rychle	
Kloub	**Poloha**	DWR	zem	DWR	zem
kyčel	flexe	92 ± 20°	49 ±10°	81 ± 14°	54 ± 12°
	extenze	7 ± 12°	-12 ± 6°	2 ± 15°	-13 ± 7°
koleno	flexe	39 ± 10 °	59 ± 10°	44 ± 11°	52 ± 10°
	extenze	162 ± 12°	166 ± 6°	159 ± 17°	163 ± 7°

4 Praktická část

4.1 Metodika práce

Metodika práce byla vytvořena na základě metody použité Kildingem, Scottem a Mullineauxem (2007). Celkem čtyři subjekty byly natočeny při běhu ve vodě a na atletickém oválu a to ve dvou různých rychlostech lokomoce. Pořízené videozáznamy byly následně analyzovány pomocí počítačového programu Dartfish. Analýze byly podrobeny změny v úhlech lokte, kyčelního a kolenního kloubu, a délka běžeckého kroku. Výsledky jsou publikovány tabulkovou formou a řádně okomentovány.

4.2 Subjekty

Výzkumu se zúčastnili čtyři studenti FTVS. Dva byli atleti závodící v extralize a II. národní lize, a dva plavci závodící na republikové úrovni. Výška subjektů byla 186, 184, 183 a 178 cm. Všechny subjekty měli buď minimální, nebo vůbec žádnou zkušenost s během ve vodním prostředí.

4.3 Pořízení videozáznamů

Natáčení bylo uskutečněno na atletickém oválu fakulty a v plaveckém bazénu v Tyršově domu. Videozáběry pro analýzu byly natočeny videokamerou GoPro Hero3+ Black Edition. Pro uchycení kamery ke zdi bazénu byl použit originální GoPro stativ s přísavkou (viz obr. 6). V obou případech byla kamera umístěna v polovině trati po pravém boku probandů kolmo ke směru běhu ve vzdálenosti 2 m. Na suchu byl objektiv kamery ve výšce 0,8 m od země a ve vodě 0,8 m pod hladinou. Vzhledem ke zkoumaným parametrům byl použit pouze 2D rozměr. Na suchu i ve vodě byl natáčen pětimetrový úsek. Na suchu natáčenému úseku předcházel dvacetimetrový náběh. Pro analýzu techniky byl vždy použit běžecký krok, který vyšel neblíže ke kolmici od objektivu na směr běhu (střed zorného pole videokamery).

Obrázek 6 Uchycení kamery

4.4 Průběh natáčení

Pro lepší a přesnější analýzu byly u probandů označeny středy zkoumaných kloubů svítivě oranžovou páskou. Místa označení byly určeny podle Jandy a Pavlů (1993) jako místo, kam se přikládá střed goniometru. Konkrétně šlo tedy o tato místa:

- ramenní kloub - střed hlavice humeru, přibližně 2,5 cm pod acromion (ve směru podélné osy humeru)
- loketní kloub - laterální epikondyl humeru
- zápěstí - os capitatum
- kyčelní kloub - velký trochanter
- kolenní kloub – laterální epikondyl femuru
- hlezenní kloub – asi 1,5 cm pod zevní kotník

V obou případech předcházelo natáčení rozcvičení. Na suchu proběhlo rozcvičení zcela individuálně. Na bazénu byly subjekty nejprve opětovně poučeny o běžecké technice v hluboké vodě a v průběhu rozcvičení ve vodě si jí osvojovaly. Jako nadlehčovací pomůcka byl použit běžecký pás firmy Arena. Během rozcvičení byla testovaným osobám slovně podávána zpětná vazba o podobě jejich techniky, a co mají zkusit změnit. Na zapracování a osvojení bylo vyčleněno 20 minut. Každý proband byl

natáčen dvakrát. Jednou při subjektivně vnímaném volném běhu (joggingu) a jednou při sprintu (maximální frekvenci).

4.5 Zpracování videozáznamů – získání dat

Videozáznamy byly analyzovány pomocí programu Dartfisth (verze Connect 7.0, build 10630). Byly změřeny a porovnány úhly v lokti, kyčelním kloubu a kolenním kloubu při běhu ve vodě a na atletickém oválu nízkou a vysokou frekvencí. Zároveň byl změřen a porovnán náklon trupu. Úhly v kyčelním a kolenním kloubu byly měřeny vždy v maximální poloze (flexi či extenzi). Úhel v lokti byl měřen při maximální flexi v kyčelním kloubu (úhel v $lokti_1$) a maximální extenzi v kyčelním kloubu (úhel v $lokti_2$) pravé nohy. Náklon trupu byl měřen při maximální extenzi v kyčelním klubu pravé nohy. Střed úhlu byl vždy umístěn ve středu měřeného kloubu označeném páskou (viz kapitola 4.4 Průběh natáčení). Ramena úhlů pak byla tvořena spojnicí středu měřeného kloubu a středů sousedních kloubů. Výjimkou byly úhly extenze v kyčelním kloubu a náklonu trupu, za jejichž jedno rameno byla brána vertikála kolmá k zemi procházející středem kyčelního kloubu. Flexe v kyčelním kloubu byla měřena netradičně jako úhel mezi stehnem a trupem. Délka kroku byla ve vodě měřena od ukončení odrazového náponu pravé nohy po další ukončení náponu pravé nohy a následně byla vydělena dvěma. Na suchu byla měřena skutečně délka jednoho kroku od ukončení odrazového náponu jedné nohy po ukončení odrazového náponu druhé nohy. Rozdílný způsob měření byl zvolen z důvodu, že při běhu na suchu by měření ze dvou kroků bylo značně zkresleno kvůli vzdálenosti od středu zorného pole videokamery.

5 Výsledky

Souhrn veškerých výsledků je obsahem tabulek 12-15[4]. Komentovány jsou pouze výsledky, které se při porovnání u všech subjektů změnily stejným způsobem. To znamená, že u všech subjektů zároveň došlo buď k poklesu, nebo k nárůstu. Výsledky, které tomuto požadavku nevyhovují, jsou označeny vykřičníkem.

Ze srovnání běhu v obou podmínkách při nízké frekvenci vyplývá, že flexe v kolenním kloubu je větší u DWR, takže se lýtko dostává blíže ke stehnu a pata se skládá více k hýždím. V kyčelním kloubu dochází při běhu ve vodě k větší flexi, což znamená, že stehno se dostává před tělem do vyšší polohy. Trup je při běhu více nakloněn vpřed a

[4] ! – u některých subjektů došlo v dané hodnotě ke zvýšení a u některých ke snížení
záporná hodnota u rozdílu – v pozorovaném úhlu došlo ke zmenšení

Tabulka 12 Srovnání úhlů v kloubech a délky kroku mezi během ve vodě a na atletickém oválu při nízké frekvenci

	atlet 1			atlet 2			plavec 1			plavec 2			**průměrný rozdíl (R)**
	voda	ovál	**rozdíl**	voda	ovál	**rozdíl**	voda	ovál	**rozdíl**	voda	ovál°	**rozdíl**	
flexe v kolenním kloubu	38,1°	75,3°	**37,2°**	42,2°	80,2°	**38°**	43,5°	99,4°	**55,9°**	40,3°	74,1°	**33,8°**	**41,2° (22.1)**
úhel v lokti$_1$	91,2°	93,9°	**2,7°**	86,3°	101,8°	**15,5°**	76,8°	90,5°	**13,7°**	113,1°	120,1°	**7°**	**9,7° (12,8)**
flexe v kyčelním kloubu	107,6°	121,4°	**13,8°**	81,8°	127,3°	**45,5°**	93,6°	137°	**43,4°**	118,9°	123°	**4,1°**	**26,7° (41,4)**
náklon trupu	14,8°	7,2°	**-7,6°**	12,1°	6,3°	**-5,8°**	13,3°	7,1°	**-6,2°**	18,6°	11,0°	**-7,6°**	**-6.8° (1.8)**
extenze v kyčelním kloubu	34,6°	4,6°	**-30°**	5,6°	33,3°	**27,7°**	30,9°	21,7°	**-9,2°**	38,3°	16,9°	**-21,4°**	**! -8,2° (57,7)**
úhel v lokti$_2$	82°	54,5°	**-27,5°**	55,1°	86,4°	**31,3°**	83,6°	47,7°	**-35,9°**	61°	63,5°	**2,5°**	**! -7.4° (67,2)**
délka kroku (m)	0,24	1,86	**1,62**	0,15	2,06	**1,91**	0,17	1,6	**1,43**	0,29	1,75	**1,46**	**1,61 (0,48)**

Tabulka 13 Srovnání úhlů v kloubech a délky kroku mezi během ve vodě a na atletickém oválu při vysoké frekvenci

	atlet 1			atlet 2			plavec 1			plavec 2			**průměrný rozdíl (R)**
	voda	ovál	**rozdíl**	voda	ovál	**rozdíl**	voda	ovál	**rozdíl**	voda	ovál	**rozdíl**	
flexe v kolenním kloubu	40,3°	76,1°	**35,8°**	33,8°	81,6°	**47,8°**	38,7°	69,0°	**30,3°**	44,5°	62,3°	**17,8°**	**32,9° (30)**
úhel v lokti$_1$	99,2°	91,2°	**-8°**	68.0°	94.0°	**26°**	74,1°	125,7°	**51,6°**	106,8°	127,1°	**20,3°**	**! 22,5° (59,6)**
flexe v kyčelním kloubu	110,7°	103,5°	**-7,2°**	96,9°	111,2°	**14,3°**	88,6°	118,2°	**29,6°**	108,0°	114,1°	**6,1°**	**! 10,7° (36,8)**
náklon trupu	23,0°	20,8°	**2,2°**	17,8°	9,4°	**8,4°**	20,7°	9,8°	**10,9°**	29,2°	13,6°	**15,6°**	**-9,3° (13,4)**
extenze v kyčelním kloubu	35,7°	37,2°	**1,5°**	33,7°	31,3°	**-2,4°**	7,8°	34,9°	**27,1°**	30,4°	39,2°	**8,8°**	**! 8,8° (29,5)**
úhel v lokti$_2$	23,0°	29,0°	**6°**	82,8°	37,4°	**-45,4°**	69,0°	33,6°	**-35,4°**	75,0°	43,6°	**-31,4°**	**! -26,6° (51,4)**
délka kroku (m)	0,27	1,94	**1,67**	0,35	2,20	**1,85**	0,17	1,83	**1,66**	0,20	1,86	**1,66**	**1.71 (0,19)**

Tabulka 112 Srovnání úhlů v kloubech a délky kroku mezi nízkou a vysokou frekvencí kroku při běhu ve vodě

	atlet 1			atlet 2			plavec 1			plavec 2			**průměrný rozdíl (R)**
	nf	vf	**rozdíl**	nf	vf	**rozdíl**	nf	vf	**rozdíl**	nf	vf	**rozdíl**	
flexe v kolenním kloubu	38,1°	40,3°	**2,2°**	42,2°	33,8°	**-8,4°**	43,5°	38,7°	**-4,8°**	40,3°	44,5°	**4,2°**	**! -1,7° (12,6)**
úhel v lokti$_1$	91,2°	99,2°	**8°**	86,3°	68,0°	**-18,3°**	76,8°	74,1°	**-2,7°**	113,1°	106,8°	**-6,3°**	**! -1,4° (26)**
flexe v kyčelním kloubu	107,6°	110,7°	**3,1°**	81,8°	96,9°	**15,1°**	93,6°	88,6°	**-5°**	118,9°	108,0°	**-10,9°**	**! 0,6° (26)**
náklon trupu	14,8°	23,0°	**8,2°**	12,1°	17,8°	**5,7°**	13,3°	20,7°	**7,4°**	18,6°	29,2°	**9,6°**	**7,7° (3,9)**
extenze v kyčelním kloubu	34,6°	35,7°	**1,1°**	5,6°	33,7°	**28,1°**	30,9°	7,8°	**-23,1°**	38,3°	30,4°	**-7,9°**	**! -0,5° (51,2)**
úhel v lokti$_2$	82°	23°	**-59°**	55,1°	82,8°	**27,7°**	83,6°	69,0°	**-14,6°**	61°	75,0°	**14°**	**! -8,0° (86,7)**
délka kroku (m)	0,24	0,27	**0,03**	0,15	0,35	**0,20**	0,17	0,17	**0**	0,29	0,20	**-0,09**	**! 0,04 (0,29)**

Tabulka 113 Srovnání úhlů v kloubech a délky kroku mezi nízkou a vysokou frekvencí kroku při běhu na atletickém oválu

	atlet 1			atlet 2			plavec 1			plavec 2			**průměrný rozdíl (R)**
	nf	vf	**rozdíl**	nf	vf	**rozdíl**	nf	vf	**rozdíl**	nf	vf	**rozdíl**	
flexe v kolenním kloubu	75,3°	76,1°	**0,8°**	80,2°	81,6°	**0,6°**	99,4°	69,0°	**-30,4°**	74,1°	62,3°	**-11,8°**	**! -10.2° (31,2)**
úhel v lokti$_1$	93,9°	91,2°	**-2,7°**	101,8°	94.0°	**-7,8°**	90,5°	125,7°	**35,2°**	120,1°	127,1°	**7°**	**! 7,9° (43)**
flexe v kyčelním kloubu	121,4°	103,5°	**-17,9°**	127,3°	111,2°	**-16,1°**	137°	118,2°	**-18,8°**	123°	114,1°	**-8,9°**	**-15,4° (9,9)**
náklon trupu	7,2°	20,8°	**13,6°**	6,3°	9,4°	**3,1°**	7,1°	9,8°	**2,7°**	11,0°	13,6°	**2,6°**	**5,5° (11)**
extenze v kyčelním kloubu	4,6°	37,2°	**32,6°**	33,3°	31,3°	**-2°**	21,7°	34,9°	**13,2°**	16,9°	39,2°	**22,3°**	**! 16,5° (34,6)**
úhel v lokti$_2$	54,5°	29,0°	**-15,5°**	86,4°	37,4°	**-49°**	47,7°	33,6°	**-14,1°**	63,5°	43,6°	**-19,9°**	**-24,6° (34,9)**
délka kroku (m)	1,86	1,94	**0,08**	2,06	2,20	**0,14**	1,6	1,83	**0,23**	1,75	1,86	**0,11**	**0,14 (0,15)**

to v průměru o 6,8°. Délka kroku je podle očekávání kratší a to v průměru dokonce o 1,62 metru.

I při vysoké frekvenci je flexe v kolenním kloubu větší ve vodním prostředí, ale již s menším rozdílem než při nízké frekvenci. Také náklon trupu je i při vysoké frekvenci větší při DWR. Rozdíl v délce kroku je ještě větší (průměrně o 1,71 metru).

Lze také říci že, při nízké frekvenci se s rozdílným prostředím subjekty vypořádali se stejnou tendencí, kdežto při vysoké frekvenci byly změny individuálně různorodější. Tento fakt také zkresluje výsledky tabulky 14, která se přímo tomuto porovnání věnuje. Shodnou tendenci vykazuje pouze náklon trupu, který se u všech subjektů při vyšší frekvenci zvětšil, což znamená, že všichni více nalehli na vodu. Zajímavé jsou údaje o změně v délce kroku a to i přes to, že jeden subjekt měl rozdílnou tendenci než ostatní. Délka kroku se totiž v celkovém průměru změnila o pouhé 4 centimetry a u plavce 1 se dokonce nezměnila vůbec.

I na suchu došlo v některých parametrech k různým tendencím při srovnání běhu nízkou a vysokou frekvencí. Zde však lze vypozorovat určitý vliv sportovní specializace, protože u dvou ze tří parametrů s různou tendencí došlo ke shodné tendenci u atletů a plavců. Pro všechny je s vyšší frekvencí běhu společný větší náklon trupu, větší flexe v kyčelním kloubu a delší krok.

Porovnáme-li výsledky tabulek 14 a 15, můžeme konstatovat, že při běhu ve vodě dochází v průběhu pohybu s rostoucí frekvencí k menším změnám než při běhu na suchu. Hlavní podíl na tom má pravděpodobně existence a absence oporové fáze.

Závěrem této kapitoly je třeba říci, že díky použité metodě jsou některé hodnoty značně zkreslené, protože při běhu na suchu byly subjekty v klíčové pozici pro určení úhlů daleko od středu zorného pole videokamery. Nejvíce se to promítlo u parametru úhlu v lokti, který z toho důvodu není vůbec komentován.

6 Diskuse

Na základě videozáznamů pořízených při praktické části mohu tvrdit, že běžecká technika testovaných subjektů odpovídala obecným popisům techniky uvedeným v kapitole 3.1. Výsledky práce jsou částečně ve shodě s výsledky, ke kterým dospěli Kilding a kol. (2007). Výsledky podpořili závěr, že při běhu ve vodě dochází v kyčelním i kolenním kloubu k větší flexi než při běhu na suchu. V prezentovaném výzkumu však byla oproti předchozímu zjištěna také větší extenze v kyčelním kloubu. Příčina rozdílnosti výsledků může spočívat především ve skutečnosti, že ve studii Kildinga a kol. (2007)

byly probandi více zacvičení v technice běhu ve vodě. Hlavním ukazatelem nedostatečného osvojení techniky běhu ve vodě je výrazný náklon trupu vpřed, ke kterému v mém měření došlo u všech pozorovaných osob. Větší úhel extenze v kyčelním kloubu může být důsledkem tohoto zvětšeného náklonu. Při lepším zácviku v technice běhu ve vodě by možná také došlo k větší shodě ve způsobu změny techniky napříč prostředími mezi jednotlivými probandy.

Z hlediska průběhu pohybu je klasickému běhu nejbližší technika cross-country doporučovaný Killgorem (2003). Stejný autor však také uvádí, že pokud je cílem cvičení napodobit klasický běh z hlediska frekvence kroku, je lepší použít techniku z vysokými koleny. U prezentovaného výzkumu nebyla použita konkrétní frekvence kroků, i když by to bylo pro hodnotnější porovnání vhodné. Důvodem pro toto rozhodnutí byl předpoklad, že pokud by se probandi měli řídit určenou frekvencí kroků udávanou metronomem, nebyli by se schopni, vzhledem k minimálním zkušenostem s během ve vodě, zároveň soustředit na techniku běhu. Výsledné frekvence kroků také nebyly prezentovány, protože pro určení frekvence kroků je potřeba porovnávat běh na běžícím pásu a běh ve vodě s uvázáním k okraji bazénu, kde se subjekt horizontálně nepohybuje a nachází se stále na místě před objektivem videokamery.

Přestože se na venek zdá být průběh pohybu běhu ve vodě velmi podobný běhu na suchu, nebylo zatím prokázáno, že je shodné i časování pohybu. Pro toto porovnání je zapotřebí dalších analýz a to především prostřednictvím elektromyografie (Killgore 2003).

Délka kroku, je při DWR výrazně kratší než při běhu na suchu, protože nedochází ke kontaktu s podložkou a chybí tak oporová fáze. Delší krok ve vodě je možný pouze při chůzi (Pohl a McNaughton 2003), protože oproti běhu nemá letovou fázi a navíc při ní voda klade menší odpor, jelikož jeho velikost narůstá společně s rychlostí pohybu.

7 Závěry

Běh ve vodním prostředí má jako pohybová aktivita velký potenciál pro široké využití. Z trenérského hlediska lze využít především jako rehabilitační, tréninkový nebo regenerační prostředek. Pro účel rehabilitace je hlavním pozitivem vodní prostředí samo o sobě a to nejvíce díky svým specifickým vlastnostem (hlavně hydrostatickému vztlaku, který člověka nadnáší). Nejvhodnějším typem cvičení pro rehabilitaci je běh v hluboké vodě, protože při něm nedochází ke kontaktu se dnem a tělo je při něm nadnášeno nejvíce.

To ve výsledku znamená naprosto minimální zatížení pro pohybová aparát (nejvíce pro klouby). Velkou výhodou oproti jiným rehabilitačním prostředkům je podobný pohybový vzorec a při správném dávkování také fyziologie jako při klasickém běhu. Pro postupný návrat k běžnému tréninkovému zatížení je vhodné přejít od běhu v hluboké vodě k běhu v mělké vodě, který je díky kontaktu se dnem klasickému běhu ještě bližší, ale zároveň při něm také dochází k menšímu zatížení pohybového aparátu díky vodnímu vztlaku.

Pro efektivní a smysluplné použití běhu ve vodním prostředí v tréninku zdravých jedinců je třeba počítat s několika specifiky. Základním předpokladem je dostatečný zácvik a osvojení běžecké techniky ve vodě, protože ani vynikající běžci nedokážou svou techniku ve vodě hned realizovat. Také je potřeba počítat s určitými fyziologickými odchylkami (nižší VO_2 a HR, při srovnatelné intenzitě zatížení v porovnání s klasickým během). Podle cíle a dostupných možností můžeme volit mezi třemi typy běhu ve vodě – běh v hluboké vodě (DWR), běh v mělké vodě (SWR) a běh na vodním běžeckém pásu (WTR). Výhodou DWR je maximální nadnášení díky vodnímu vztlaku a tím minimální zatížení pohybového aparátu. SWR a WTR jsou si značně podobné, ale WTR nabízí díky možnosti nastavení rychlosti lepší regulaci zátěže. Z hlediska podobnosti klasickému běhu jsou typy cvičení srovnány od nejpodobnějšího následovně WTR, SWR, DWR. Nejpřínosnějším typem je však pro trénink díky maximálnímu odlehčení DWR. Pokud chceme maximalizovat efektivitu tohoto typu cvičení a přiblížit ho z pohledu fyziologie zátěže klasickému běhu, musíme své svěřence dostatečně zacvičit v technice běhu ve vodě. Další zvýšení efektivity přináší použití speciální obuvi pro běh ve vodě.

Ačkoli může být běh ve vodě při dostatečném osvojení velmi blízký klasickému běhu, měli bychom ho považovat spíše za nespecifický tréninkový prostředek. Jako takový bychom ho tedy měli zařazovat ve větší míře pouze do přípravného období. V menší míře ho pak můžeme používat během celého ročního cyklu, ale spíše jako regenerační prostředek, případně pro zpestření stereotypního tréninku.

8 Přehled literatury

1. AZEVEDO, L. B., LAMBERT, M. I., ZOGAIB, P. S., BARROS NETO, T. L. Maximal and submaximal physiological responses to adaptation to deep water running. *Journal of Sports Sciences*, 2010, 28:4, 407-414
2. BRENNAN, D. K. *Aquajogging: High Value Fitness – Part I of a Four Part Series*, [online], [cit. 2014-27-05]. Dostupné z: http://www.calainc.org/Handouts
3. ČECHOVSKÁ, I., JURÁK, D., POKORNÁ, J. *Plavání. Pohybový trénink ve vodě*. Praha: Karolinum, 2012. 90 s. ISBN978-80-246-1948-4.
4. DENNING, W. M., BRESSEL, E., DOLNY, D., BRESSEL, M., SEELE, M. K. A Review of Biophysical Differences Between Aquatic and Land-Based Exercise. *International Journal of Aquatic Research and Education*, 2012, 6, 46-6
5. DOWZER, C. N., REILLY, T., CABLE, N. T., NEVILL, A. Maximal physiological responses to deep and shallow water running. *Ergonomics*, 1999, 42, 275-281
6. FRANGOLIAS, D. D., RHODES, E. C., TAUNTON, J. E., BELCASTRO, A. N., COUTTS, K. D. Metabolic responses to prolonged work dunng treadmill and water immersion running. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2000, 3 (4), 476-492
7. HAMER, P. W., SIOCOMBE, B. J., The Psychophysical and heart rate relationship between treadmill and deep-water running. *Australian Journal of Physiotherapy*, 1997, 43, 265-271
8. HAUPENTHAL, A. a kol. Ground reaction forces in shallow water running are affected by immersion level, running speed and gender. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2013, 16, 348-352
9. JANDA, V., PAVLŮ, D. *Goniometrie: Učební text*. Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví. Brno: 1993, ISBN 80-7013-160-8
10. KILDING, A. E., SCOTT, M. A., MULLINEAUX, R. A Kinematic comparison of deep water running and overground running in endurance runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2007, 21(2), 476-480
11. KILLGORE, G. L. *A Biomechanical and Physiological Comparison of Deep-Water Running Styles*. Oregon 2003. 338 s. Dizertační práce na Oregon State University. Vedoucí dizertační práce Tony Wilcox.

12. KILLGORE, G. L., COSTE, S. C., O'MEARA, S. E., KONNECKE, C. J. A Comparison of the physiological exercise intensity differences between shod and barefoot submaximal deep-water running at the same cadence. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 2010, 24(12), 3302–3312
13. NAKANISHI, Y., KIMURA, T., YOKOO, Y. Maximal Physiological Responses to Deep Water Running at Thermoneutral Temperature. *Journal of Physiological Anthropology*, 1999, 18 (2), 31-35
14. POHL, M. B., MCNAUGHTON, L. R. The Physiological Responses to Running and Walking in Water at Different Depths. *Research in Sports Medicine*, 2003, 11, 63-78
15. REILLY, T., DOWZER, C. N., CABLE, N. T., The physiology of deep-water running, *Journal of Sports Sciences*, 2003, 21:12, 959-972
16. RIFE, R. K., MYRER, J. W., VEHRS, P., FELAND, HUNTER, I., FELLINGHAM, G. W. Water Treadmill Parameters Needed to Obtain Land Treadmill Intensities in Runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2010, Vol. 42, No. 4, pp. 733–738
17. ROBERTS M., *Začni běhat.* Slovart, 2014. 192 s. ISBN 978-80-7391-803-3
18. TVRZNÍK A., SOUMAR L. *Běhání.* Grada, 2012. 192 s. ISBN 978-80-247-3934-2
19. TVRZNÍK A., SOUMAR, L. *Jogging.* Grada, 2004. 104 s. ISBN 80-247-0714-4
20. WÖLLZENMÜLLER, F. *Běhání.* České Budějovice: KOPP, 2006. 128 s. ISBN 80-7232-282-6

9 Seznam použitých zkratek

TR – běžecký pás

DWR – běh v hluboké vodě (ramena těsně pod hladinou, nedochází ke kontaktu se dnem)

SWR – běh v mělké vodě (dochází ke kontaktu se dnem, hladina nejčastěji na úroveň xiphoidu)

WTR – vodní běžecký pás

ATS – vodní běžecké boty

HR – srdeční frekvence

VO_2 – spotřeba kyslíku

RER – poměr respirační výměny

RPE – hodnocení vnímané námahy

VT – ventilační práh

SF – frekvence kroků

BW – hmotnost těla

s – směrodatná odchylka

R – variační rozptyl