

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



Fakulta
tělesné kultury

**VLIV MOLEKULÁRNÍHO VODÍKU NA VYBRANÉ UKAZATELE
MOČI SLEDOVANÉ BĚHEM DVOU HODIN OD KONZUMACE
1 500 ML HYDROGENOVÉ VODY U ZDRAVÉ POPULACE**

Diplomová práce

Autor: Bc. Tereza Holubová

Studijní program: Aplikované pohybové aktivity – poradenství
ve speciální pedagogice

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

Olomouc 2024

Bibliografická identifikace

Jméno autora: Bc. Tereza Holubová

Název práce: Vliv molekulárního vodíku na vybrané ukazatele moči sledované během dvou hodin od konzumace 1 500 ml hydrogenové vody u zdravé populace

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

Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii

Rok obhajoby: 2024

Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá vlivem molekulárního vodíku na vybrané ukazatele moči sledované během dvou hodin od konzumace 1 500 ml hydrogenové vody u zdravé populace. Výzkumný soubor tvořilo 12 probandů náhodně rozdělených do dvou skupin. Experiment má charakter randomizované dvojité zaslepené placebem kontrolované crossover studie. Testování probíhalo ve dvou tříhodinových experimentálních blocích v rozmezí dvou týdnů. V prvním bloku bylo jedné skupině podáno 1 500 ml (3x 500 ml) tekutiny ve formě HRW (1,18 ppm) a v druhém bloku stejné množství placebo. Druhé skupině byly tekutiny podány v opačném pořadí. Hodnocení frekvence mikce, objemu, barvy, specifické hmotnosti, pH a oxidačně redukčního potenciálu moči bylo provedeno testováním odebrané moči probandů. Rozdíly mezi užitím HRW a placebo nebyly u vybraných ukazatelů signifikantní: frekvence mikce (7 probandů mělo u HRW i placebo stejnou četnost, 3 probandi u HRW měli zvýšenou frekvenci o jednotku v porovnání s placebem, 2 probandi měli u HRW sníženou frekvenci o jednotku v porovnání s placebem), objem (HRW: $1\,443 \pm 336$ ml, placebo: $1\,459 \pm 319$ ml), barva (HRW: $1,9 \pm 0,8$, placebo: $2,1 \pm 0,7$), specifická hmotnost (HRW: $1,0049 \pm 0,0009$, placebo: $1,0046 \pm 0,0010$), pH (HRW: $6,53 \pm 0,23$, placebo: $6,59 \pm 0,21$) a oxidačně redukční potenciál moči (HRW: 39 ± 14 mV, placebo: 38 ± 22 mV). Závěrem lze konstatovat, že hydrogenová voda nevykazuje známky diuretického efektu během dvou hodin od užití 1 500 ml HRW v porovnání s placebem.

Klíčová slova:

Vyšetření moči, močový systém, hydratace, tělesné kompartmenty, voda bohatá na vodík, bilance tekutin

Souhlasím s půjčováním práce v rámci knihovních služeb.

Bibliographical identification

Author: Bc. Tereza Holubová
Title: The effect of molecular hydrogen on selected urinary parameters monitored during two hours after intake of 1 500 ml of hydrogen water in a healthy population

Supervisor: doc. PhDr. Michal Botek, Ph.D.
Department: Department of Natural Sciences in Kinanthropology
Year: 2024

Abstract:

The thesis deals with the effect of molecular hydrogen on selected urinary parameters monitored during two hours after intake of 1 500 ml of hydrogen water in a healthy population. The research population consisted of 12 probands randomly divided into two groups. The experiment is a randomized double-blind placebo-controlled crossover study. The testing was conducted in two three-hour experimental blocks two weeks apart. In the first block, one group was given 1 500 ml (3x 500 ml) of HRW (1,18 ppm) fluid and in the second block the same amount of placebo. The second group was given the fluids in the reverse order. Assessment of micturition frequency, volume, colour, specific gravity, pH and oxidation-reduction potential of urine was done by testing the collected urine of the probands. Differences between HRW and placebo use weren't statistically significant for selected parameters: micturition frequency (7 probands had the same frequency with HRW and placebo, 3 probands had increased frequency by one unit with HRW compared to placebo, 2 probands had decreased frequency by one unit with HRW compared to placebo), volume (HRW: $1\,443 \pm 336$ ml, placebo: $1\,459 \pm 319$ ml), color (HRW: 1.9 ± 0.8 , placebo: 2.1 ± 0.7), specific gravity (HRW: 1.0049 ± 0.0009 , placebo: 1.0046 ± 0.0010), pH (HRW: 6.53 ± 0.23 , placebo: 6.59 ± 0.21), and urine oxidation-reduction potential (HRW: 39 ± 14 mV, placebo: 38 ± 22 mV). In conclusion, hydrogen water doesn't show signs of diuretic effect during two hours after intake 1 500 ml HRW compared to placebo.

Keywords:

Urinalysis, urinary system, hydration, body compartments, hydrogen-rich water, fluid balance

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

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci zpracovala samostatně pod vedením doc. PhDr. Michala Botka, Ph.D., uvedla všechny použité literární a odborné zdroje a dodržovala zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 30. června 2024

.....

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. PhDr. Michalovi Botkovi, Ph.D. za vstřícný přístup, odborné rady, ochotu a podporu při vedení mé diplomové práce. Dále patří poděkování také Mgr. Adamovi Jarmarovi a RNDr. Jakubovi Krejčímu, Ph.D. za vstřícnost, ochotu a pomoc při získání potřebných dat k diplomové práci. Také probandům děkuji za spolupráci.

SEZNAM ZKRATEK

5-FU	5-fluorouracil
ACE	angiotenzin konvertující enzym
AHD	antidiuretický hormon, vazopresin
ANP	atriální natriuretický peptid
ANS	autonomní nervový systém
CNS	centrální nervová soustava
HRCT	výpočetní tomografie s vysokým prostorovým rozlišením
HRW	hydrogenová voda
CHOPN	chronická plicní obstrukční nemoc
ILD	intersticiální plicní onemocnění
IM	infarkt myokardu
NAC	N-acetylcystein
NF- κ B	nukleární faktory kappa B
NIHSS	National Institut of Health Stroke Scale
ORP	oxidačně redukční potenciál
p	statistická významnost
RAAS	renin-aldosteron-angiotenzin systém
RNS	reaktivní formy dusíku
ROS	reaktivní formy kyslíku
STEMI	infarkt myokardu s ST elevacemi
TNF	tumor nekrotizující faktor
UPDRS	Unified Parkinson's disease rating scale
USG	urine specific gravity
VAS	vizuální analogová škála

OBSAH

Seznam zkratek	7
Obsah	8
1 Úvod	10
2 Přehled poznatků.....	11
2.1 Hospodaření s tekutinami v lidském organismu	11
2.1.1 Tělesné kompartmenty	11
2.1.2 Cirkulace tělesných tekutin	13
2.1.3 Regulace tělesných tekutin	14
2.1.4 Stavy hydratace.....	15
2.1.5 Bilance tekutin	17
2.1.6 Specifika hospodaření s tekutinami u sportovců	18
2.1.7 Charakteristika vybraných nápojů ve sportovní sféře	20
2.2 Charakteristika močového systému	23
2.2.1 Funkční anatomie ledvin	23
2.2.2 Funkční anatomie vývodných cest močových	26
2.2.3 Základní vlastnosti moči.....	27
2.2.4 Vyšetření moči	28
2.3 Molekulární vodík	32
2.3.1 Aplikace molekulárního vodíku	34
2.3.2 Molekulární vodík jako alternativa kofeinu.....	35
2.3.3 Využití molekulárního vodíku.....	36
3 Cíle.....	41
3.1 Hlavní cíl.....	41
3.2 Dílčí cíle	41
3.3 Výzkumné hypotézy	41
4 Metodika	42
4.1 Charakteristika výzkumného souboru	42
4.2 Design studie.....	43
4.3 Metodika sběru dat.....	43
4.4 Statistické zpracování dat	48

5	Výsledky	49
6	Diskuse	52
	6.1 Limity práce	54
7	Závěry	55
8	Souhrn	56
9	Summary	58
10	Referenční seznam	60
11	Přílohy	72

1 ÚVOD

Voda je základním stavebním kamenem veškerého života a tvoří dle Popkina et al. (2010) podstatnou část lidského organismu. Její význam pro organismus je nedocenitelný, jelikož se podle Jabora et al. (2008) podílí na řadě biologických procesů včetně metabolismu, transportu, regulace tělesné teploty a udržení stabilního vnitřního prostředí. Je klíčová pro správné fungování buněčných struktur, tkání, orgánů a orgánových soustav člověka. Na udržení toho fungování se podílí vodní bilance týkající se rovnováhy mezi příjmem a výdejem tekutin (Kittnar et al., 2020).

V posledních letech se do popředí vědeckého výzkumu dostává molekulární vodík především jako selektivní antioxidant, antifibrotický činitel a antiapoptický prvek (Ge et al., 2017). Mechanismus jeho účinků ve formě hydrogenové vody (HRW) je dle Kawamury et al. (2020) hojně zkoumán v kontextu sportovní výkonnosti a regenerace. Příčinou může být tlak vyvíjený na výkon sportovců a hledání nejlepší možnosti jeho podpory a zvýšení. V případě orientace výzkumu vlivu hydrogenové vody na sportovní výkon je nutné brát v potaz také hydratační strategii sportovce. Suplementace hydrogenové vody ve sportovním odvětví přináší dle experimentálních studií mnohé benefity, nabízí se však otázka jejího vlivu na bilanci tekutin v lidském těle.

Významným inputem pro rozvoj úvahy o vlivu hydrogenové vody na bilanci tekutin bylo subjektivní hodnocení uživatelů tohoto supplementu o účinku týkajícího se zvýšení frekvence mikce. Meyer et al. (2016) uvádí, že zvýšený výdej tekutin může negativně ovlivnit vodní bilanci a představovat riziko vzniku dehydratace, která je velkou zátěží pro neuromuskulární, kognitivní a metabolickou stránku sportovce. Tento problém vyvstal již u jiných suplementů, jako je například kofein, na základě čehož byly provedeny další experimentální studie v kontextu bilance tekutin a močového systému. Vztah molekulárního vodíku k bilanci tekutin a močovému systému není prozkoumán, ale studie naznačují potenciál pro jeho využití v této oblasti.

V rámci své diplomové práce se zaměřuji na vliv hydrogenové vody na vybrané charakteristiky moči během dvouhodinového časového úseku. Diplomová práce je rozdělena do několika částí, z nichž každá obsahuje své kapitoly. Přehled poznatků této práce zahrnuje kapitoly vymezující hospodaření s tekutinami v lidském organismu, charakteristiku močového systému a molekulární vodík. Další část práce se věnuje definici cílů práce, popisu metodiky a přehledu výsledků.

Hlavním cílem této diplomové práce je posoudit vliv 1 500 ml hydrogenové vody (HRW) na vybrané charakteristiky moči během dvou hodin od konzumace v porovnání s placebem.

2 PŘEHLED POZNATKŮ

2.1 Hospodaření s tekutinami v lidském organismu

Život je neodmyslitelně spjat s vodou. Od doby, kdy se pravěké druhy přesunuly z oceánů na souš, je dle Popkina et al. (2010) hlavním klíčem k přežití udržení vodní bilance. Silbernagl et al. (2016) uvádí, že výsledkem vyrovnané vodní bilance je konstantní obsah vody v těle, který je dán dynamickou rovnováhou mezi příjmem a výdajem tekutin. Tělesné tekutiny jsou primárně složeny z vody, která obsahuje velké množství látek. První skupinou látek jsou elektrolyty, jako je sodík, draslík, hořčík, fosforečnan, chlorid a další. Kyslík, oxid uhličitý, glukóza a například močovina tvoří druhou skupinu. Poslední skupina zahrnuje substance jako hormony, koagulační faktory, albuminy a imunoglobuliny (Tobias et al., 2022).

2.1.1 Tělesné kompartmenty

Voda je základní složkou vnitřního prostředí lidského organismu. Jabor et al. (2008) uvádí, že voda v těle figuruje jako univerzální rozpouštědlo, ve kterém mohou probíhat různé biochemické procesy. Významné jsou homeostatické reakce udržující nejen osmotickou, metabolickou, termickou i elektrochemickou bilanci, ale také transport živin a produktů metabolismu v buňkách i mezi nimi.

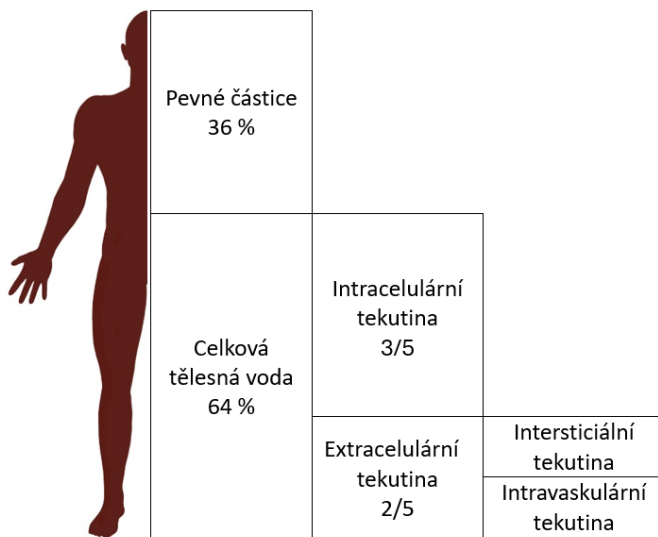
Existuje velké množství odhadů procentuálního zastoupení vody v lidském organismu. Podle Silbernagla et al. (2016) se voda podílí na celkové tělesné hmotnosti ze 46 % až 75 % v závislosti na věku a pohlaví. U mladého průměrného muže je hodnota zastoupení vody v těle zhruba 64 %, což je znázorněno na Obrázku 1. U mladé průměrné ženy je hodnota nižší a činí okolo 53 %. Důvodem je vyšší podíl tukové tkáně, která jako hydrofobní substance obsahuje pouze 20 % vody, zatímco většina ostatních tkání obsahuje vodu až ze 73 %. Langmeier et al. (2009) zdůrazňují, že čím větší objem tukové tkáně je v těle, tím nižší podíl tělesné hmotnosti připadá na vodu.

Mourek (2012) uvádí, že celková tělesná voda je tvořena dvěma kompartmenty:

- intracelulární tekutina,
- extracelulární tekutina.

Obrázek 1

Zastoupení vody v těle průměrného muže



Poznámka. vlastní zpracování, rozložení množství tekutin převzato dle Silbernagl et al. (2016)

Ševčík a Matějovič (2014) udávají, že intracelulární tekutina představuje větší podíl objemu celkové tělesné vody. Dle Trojana et al. (2003) je intracelulární tekutina označovaná také jako buněčná voda, jelikož vyplňuje nitrobuněčné prostory. Od extracelulární tekutiny je dle Langmeiera et al. (2009) oddělena cytoplazmatickou membránou, která díky své permeabilitě reguluje složení obou kompartmentů. Petřek (2019) uvádí, že hlavním iontem intracelulární tekutiny je draselný kation (K^+).

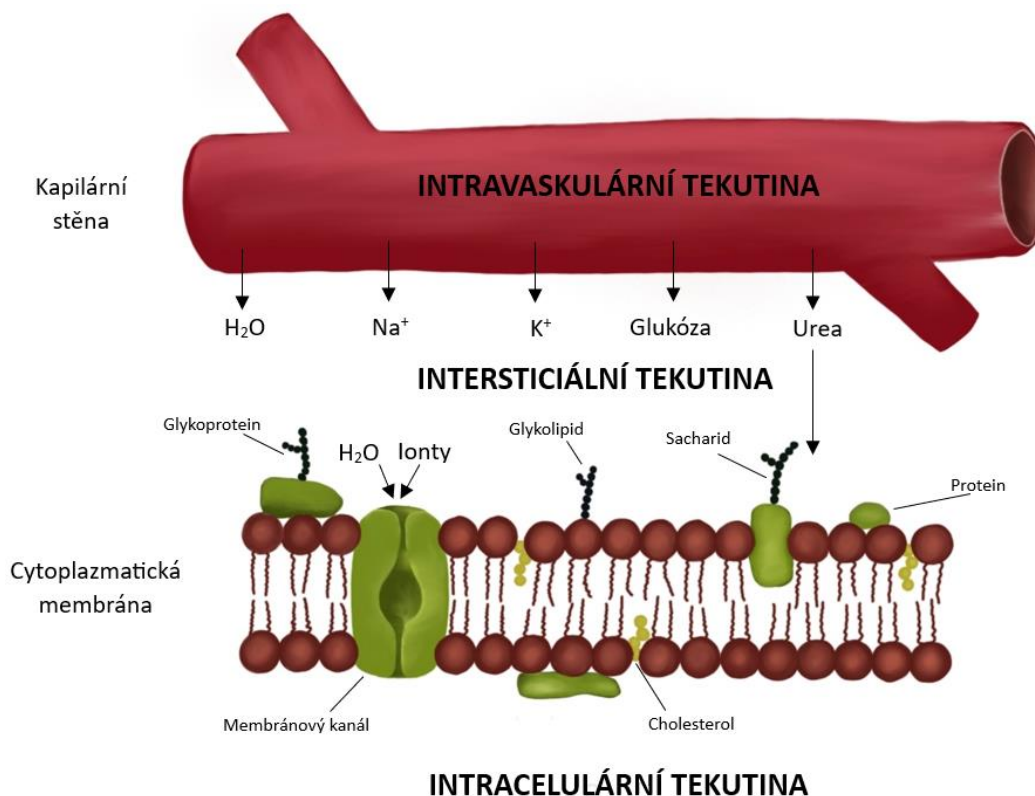
Silbernagl et al. (2016) uvádí, že mezibuněčný prostor obsahuje extracelulární tekutinu, která je převážně tvořena ionty sodíku (Na^+) a chloridu (Cl^-). Avšak Langmeier et al. (2009) doplňují, že významným iontem této tekutiny je také bikarbonátový anion (HCO_3^-).

Dle Kittnara et al. (2020) můžeme extracelulární tekutinu diferencovat na intersticiální a intravaskulární kompartment, což znázorňuje Obrázek 2. Intersticiální tekutina obklopuje buňky tkáně a je označována jako tkáňový mok, jehož funkcí je přívod živin a transport odpadních látek. Intravaskulární tekutina neboli krevní plazma se nachází uvnitř cév krevního oběhu a kromě transportní funkce má vliv i na hemokoagulaci. Langmeier et al. (2009) uvádí, že tyto kompartmenty mají podobné složení a jsou odděleny endotelovými buňkami krevních kapilár, které propouštějí vodu a nízkomolekulární látky.

Silbernagl et al. (2016) doplňují, že extracelulární prostor vyplňuje také transcelulární tekutina, mezi kterou řadíme například likvor, synoviální tekutinu, pleurální tekutinu a peritoneální tekutinu.

Obrázek 2

Kompartmenty tělesné vody



Poznámka: vlastní zpracování

2.1.2 Cirkulace tělesných tekutin

Langmeier et al. (2009) uvádí, že pohyb vody nacházející se mezi jednotlivými kompartmenty je určován silou hydrostatického a osmotického tlaku. Osmotický tlak má vliv především na přesun vody mezi intracelulární a intersticiální tekutinou. Pohyb vody do intravaskulárního prostoru skrz kapilární stěnu je dán dle Kittnara et al. (2020) rozdílem hydrostatických a onkotických tlaků, které nazýváme jako Starlingovy síly.

Langmeier et al. (2009) doplňují, že kapilární stěnou prochází ionty volně společně s vodou a dalšími nízkomolekulárními látkami narozdíl od cytoplazmatické membrány, která k udržení stálého iontového složení využívá mechanismy difuze, osmózy a aktivního transportu. Petřek (2019) doplňuje, že k regulaci relativně stálého složení extracelulární tekutiny je nezbytná kooperace systému nervového a endokrinního se systémem kardiovaskulárním, dýchacím, trávicím a vylučovacím.

2.1.3 Regulace tělesných tekutin

Vnější prostředí je v neustálé interakci s prostředím vnitřním, což může být ohrožující nejen pro buňku, ale také pro celý organismus. Z tohoto důvodu organismus disponuje dle Kittnara et al. (2020) řadou mechanismů zajišťujících udržení stálosti vnitřního prostředí neboli homeostázu.

Mourek (2012) uvádí, že homeostáza je dána stabilitou parametrů jako je vodíkový potenciál, parciální tlak kyslíku a oxidu uhličitého, teplota, objem tělesných tekutin, osmolalita a hladiny energetických substrátů. Pro udržení stálosti těchto parametrů, a tím i vnitřního prostředí, organismus využívá homeostatický regulační systém, který popisuje Kittnar et al. (2020) jako funkčně propojený systém zahrnující buňky a tkáně, jejichž spolupráce udržuje fyzikální a chemické veličiny v žádoucích hodnotách.

V této kapitole se zaměřuji především na základní mechanismy podílející se na regulaci tělesných tekutin. Anatomickým strukturám, které jsou základním pilířem pro chod těchto procesů, se věnuji v kapitole nazývané Charakteristika močového systému.

Johnson (2009) uvádí, že ve vztahu k tělním tekutinám je jedním z nejdůležitějších mechanismů udržujících homeostázu proces osmoregulace. Bláhová a Fencel (2011) označují za hlavní osmoregulační centrum hypothalamus, jež má podle Amblera (2011) významnou neuroendokrinní funkci zahrnující řízení tvorby i sekrece hormonů adenohipofýzy a neurohypofýzy. Jedním z hormonů hypothalamu umístěným v neurohypofýze je vazopresin (antidiuretický hormon, ADH), který má dle publikace Balíka et al. (2015) zásadní roli zejména v hospodaření s vodou a řízení tonu cév.

Rokyta et al. (2015) uvádí, že informace o množství vody a solutů v těle zprostředkovávají v centrální nervové soustavě (CNS) osmoreceptory hypothalamu. Šafka et al. (2019) doplňují, že z oblasti periferie přivádí signály o stavu tekutin volumoreceptory a baroreceptory, na jejichž základě hypothalamus řídí sekreci vazopresinu. Trojan et al. (2003) uvádí, že při zvýšení osmolality plazmy dochází ke stimulaci sekrece vazopresinu v neurohypofýze. Naopak při poklesu osmolality plazmy nastává sekreční inhibice. Hlavním účinkem vazopresinu je zpětná resorpce vody v distálních tubulech a sběrných kanálcích močového systému. Tesař et al. (2015) doplňují, že vazopresin stimuluje aktivitu transportních pump v Henleově kličce a část sběrného kanálku, díky čemuž dojde i k resorpci sodných kationtů.

Nečas et al. (2021) uvádí, že na řízení vylučování vody a solutů ledvinami se vazopresin podílí spolu s dalším systémem nazývaným renin-angiotenzin-aldosteron (RAAS) a atriálním natriuretickým peptidem (ANP). Rokyta et al. (2015) popisují renin jako enzym odpovídající na snížené prokrvení ledvin a zvýšenou koncentraci sodného či chloridového iontu v distálním

tubulu. Renin je sekretován také při stimulaci autonomního nervového systému (ANS). Vokurka et al. (2018) doplňují, že renin katalyzuje přeměnu angiotenzinogenu na angiotenzin I, který je díky aktivaci angiotenzin konvertujícího enzymu (ACE) v plicích přeměněn na angiotenzin II, jehož funkcí je především vazokonstrikce arterioly a retence vody i solí. V ledvinách dojde k vazokonstrikci zejména vasa efferens, vlivem čehož se zvýší glomerulární filtrace. Při vysokých koncentracích angiotenzinu II se účinek rozšíří i na vasa afferens, čímž se naopak sníží glomerulární filtrace. Angiotenzin II má podle publikace Nečase et al. (2021) také stimulační vliv na produkci aldosteronu kůrou nadledvin, jehož aktivizace se projeví především vstřebáním sodíku v distální části nefronu. Tento proces umožní resorpci sodíku, ke které nedošlo v proximální části nefronu.

Na zvýšenou sekreci vazopresinu, reninu a aldosteronu reaguje inhibičně atriální natriuretický peptid, který je dle Ganonga et al. (2010) expandován kardiomyocyty. Tyto buňky reagují na náplň procházející srdečními síněmi, díky čemuž má zmíněný peptid schopnost vyvolat vazodilataci a způsobit natriurézu.

Knepper et al. (2015) doplňují, že do tohoto řetězce reakcí vstupuje další důležitý regulační systém řízený hypothalamem, a tím je pocit žízně, díky kterému vzniká motivace k pití. Následkem toho dojde k doplnění tělních tekutin. V cirkulačním systému vyvolá příjem tekutin redistribuci vody a iontů, na čemž se podílí Starlingovy síly. V cirkulačním i vylučovacím systému hraje důležitou roli autonomní nervový systém, který nejenže zvyšuje sekreci reninu, ale také reguluje krevní tlak, snižuje perfuzi ledvin a reabsorpci sodných kationtů. McKinley a Johnson (2004) upozorňují, že díky kooperaci těchto systémů je funkčně zrealizovaná zpětnovazebná smyčka fyziologických reakcí zajišťující udržení tekutinové homeostázy.

2.1.4 Stav hydratace

Optimální stav celkového objemu tělesné vody je dle McDermotta et al. (2017) označován jako euhydratace. Dosažení euhydratovaného stavu se vztahuje k žádoucímu množství intracelulární a extracelulární tekutiny, jejichž objemy jsou udržovány s minimální fyziologickou kompenzací. V tomto stavu fungují tělesné systémy nejefektivněji, avšak vlivem dehydratace či hyperhydratace mohou být ohroženy.

Ve své publikaci Armstrong a Johnson (2018) upozorňují, že jedince s normální osmolalitou tělních tekutin (285–295 mmol/kg) lze považovat za ideálně hydratované bez ohledu na celkový denní příjem nebo močové biomarkery, protože centrální nervový systém aktivně reguluje jak celkový objem vody v těle, tak koncentraci vody v krvi. Z tohoto důvodu může být jedinec se suboptimálním příjmem vody vyhodnocen jako euhydratovaný v důsledku

zachování osmolality tělních tekutin prostřednictvím snížené produkce moči a dalších kompenzačních reakcí.

Dehydratace

Silbernagl et al. (2016) popisují, že při nedostatku vody v organismu dochází ke zvýšení osmolality, o čemž zmíněné osmoreceptory informují hypothalamus, který reaguje stimulací sekrece vazopresinu. Ten následně působí v distálním tubulu a sběrných kanálcích za účelem zvýšení resorpce vody. Díky tomuto mechanismu dochází k osmotickému vyrovnání a tím i udržení homeostázy. Tato kompenzační strategie je dle Merkunové a Orla (2008) doprovázená oligurií, která se v tomto případě projevuje nižším objemem vyloučené sekundární moči se zvýšenou koncentrací odpadních látek. Tento úbytek celkové tělesné tekutiny nazýváme dle Prudius et al. (2014) hypertonickou dehydratací. K tomuto stavu dochází především v důsledku žíznění, pocení, hyperventilace nebo při ztrátě vody gastrointestinálním traktem či ledvinami při diabetických komplikacích. Klinickými projevy hypertonické dehydratace jsou žíznivost, suché sliznice, snížený turgor kůže, zmatenost, otupělost, horečka a zmíněná oligurie.

Ztráta vyššího množství sodíku v porovnání s vodou způsobuje dle Šefčíkové et al. (2014) hypotonickou dehydrataci, pro kterou je typické objemové snížení extracelulární tekutiny a zvýšení intracelulární tekutiny. Příčinou tohoto typu dehydratace je renální insuficience, zvracení, průjemy a nadměrné pocení. Klinicky se projevuje poklesem krevního tlaku, ortostatickými poruchami a vznikem křečí.

Zadák a Havel (2017) dále popisuje izotonickou dehydrataci jako souběžný deficit vody i sodíku v izotonickém poměru se zachováním normální osmolality, kdy dochází k snížení objemu extracelulární tekutiny. Objemové množství intracelulární tekutiny není ovlivněno. Tento případ vzniká nejčastěji zvracením, průjmem, popáleninami a účinkem diuretik. Hlavními projevy jsou změny iontového složení extracelulární tekutiny a známky hypovolemie při zachování běžné tonicity.

Hyperhydratace

Opačným příkladem dehydratace je nadbytek vody, kdy dochází k snížení osmolality, redukcí resorpce vody v ledvinách, zvýšení vodní diurézy a následně poklesu sekrece vazopresinu. Vlivem zvýšené ztráty vody z těla a snížené koncentraci odpadních látek v moči dochází dle Merkunové a Orla (2008) ke vzniku polyurie. Pocit žízně oslabuje a tím i motivace k pití, díky čemuž se příjem tekutin snižuje. Zvýšený objem celkové tělesné tekutiny nazýváme jako hypotonickou hyperhydrataci. Zadák a Havel (2017) uvádí, že vzniká při nadměrné tvorbě vazopresinu, psychogenní polydipsii, poruchách jater a gastrické laváží vodou. Klasickými klinickými projevy jsou křeče, pocit slabosti, nevolnost, otoky, poruchy vědomí a vzestup centrálního žilního tlaku.

Hypertonická hyperhydratace se vyznačuje dle publikace Vokurky et al. (2018) větším zadržováním solutů než vody, díky čemuž je objem extracelulární tekutiny zvýšen. Příčinou této hyperhydratace mohou být endokrinní defekty, dysfunkce ledvin a porucha bilance v extracelulární tekutině způsobena pitím mořské vody či předávkováním hyperosmolárních infuzí. Typickou reakcí je pocit žízně, zvýšená hmotnost, horečka, dušnost a exantém.

Nečas et al. (2021) uvádí, že během izotonické hyperhydratace dochází k zadržení izosmolární tekutiny. Jelikož se osmolalita nemění, nedochází k přesunů vody do buněk. Tento stav může způsobovat předávkování infuzí izosmolární tekutiny, avšak nejčastější příčinou je sekundární hyperaldosteronismus, jehož projevem jsou otoky, ascites a hydrothorax.

2.1.5 Bilance tekutin

Bilance tekutin a pitný režim jsou úzce provázané pojmy, které se mnohdy zaměňují, z toho důvodu se začátek této kapitoly věnuje vymezení těchto pojmů. Šefčíková et al. (2014) popisují pitný režim jako zcela vědomé udržování dostatečného množství tekutin a minerálních látek v těle. Ovšem bilance tekutin je dle Kittnara et al. (2020) definovaná jako vyrovnaný poměr mezi příjmem a výdejem tekutin v organismu.

Dle publikace Matějovské Kubešové (2012) činí celkový denní příjem až 2 500 ml, který tvoří pitná voda a nápoje v zastoupení až 1 500 ml, voda přijatá v potravě tvořící zhruba 700 ml a metabolická voda vznikající při biochemických reakcích okolo 300 ml.

Celkový denní výdej tekutin se podle publikace Šefčíkové et al. (2014) pohybuje okolo 2 500 ml. Rokyta et al. (2015) popisují, že z celkové ztráty vody může být až 1 500 ml vody vyloučeno v rámci denní diurézy sekundární močí, za běžných okolností 100 ml stolicí, insenzibilní perspirací plicemi až 400 ml a zhruba 600 ml kůží.

Merkunová a Orel (2008) uvádí, že pro dosažení vodní bilance je nezbytné, aby množství přijatých tekutin odpovídalo množství vyloučených tekutin. Kittnar et al. (2020) doplňují, že v případě nerovnováhy hovoříme o pozitivní bilanci, kdy příjem převažuje nad výdejem. V opačném případě se jedná o negativní bilanci, během níž je výdej tekutin vyšší než příjem. Pokud výše uvedené regulační mechanismy nedocílí vodní bilance, dochází k narušení homeostázy.

Jeligová a Kožíšek (2010) upozorňují, že bilance tekutin je přísně individuální záležitost závislejší na několika vnitřních i vnějších faktorech. Těmito faktory jsou:

- aktuální stav hydratace,
- tělesná hmotnost,
- věk,
- pohlaví,
- složení stravy,
- pohybová aktivita,
- teplota těla,
- zdravotní stav,
- proudění vzduchu,
- teplota prostředí,
- vlhkost prostředí,
- stupeň schopnosti adaptace na prostředí,
- druh oblečení,
- a další.

2.1.6 Specifika hospodaření s tekutinami u sportovců

Během cvičení využívá lidský metabolismus dle Meyer et al. (2016) pouze 20 % uvolněné energie k zajištění svalové práce a zbývajících 80 % produkuje ve formě tepla. Ve snaze regulovat tepelnou produkci a udržet homeostázu se aktivují kompenzační mechanismy tepelných ztrát. Nuccio et al. (2017) uvádí, že primární cestou ztráty tepla během cvičení je pocení. Pocením dochází nejen k ztrátě tepla, ale také vody, což specifikuje ve své publikaci Resl et al. (2021):

- *Perspiratio sensibilis* neboli znatelná evaporace slouží jako termoregulační mechanismus ve formě aktivního transportu pocením prostřednictvím potních žláz.
- *Perspiratio insensibilis* neboli neznatelné pocení je procesem pasivní difuze, kdy množství vody prochází *stratum corneum* a závisí na podmínkách zevního prostředí.

Ganong et al. (2010) uvádí, že rychlost ztráty tělních tekutin potem je přímo úměrná intenzitě cvičení. Ta je ovlivněna typem sportovní disciplíny a faktory, které výše v kapitole Bilance tekutin zmiňují Jelíková a Kožíšek (2010). Kittnar et al. (2020) upozorňují, že za určitých podmínek může pocením dojít k ztrátě až 2 000 ml tekutin za hodinu. Jelikož dochází k ztrátě hypotonické tekutiny, zvyšuje se osmolalita extracelulární tekutiny, což aktivizuje kompenzační mechanismy pro udržení homeostázy. Dojde k redistribuci tělních tekutin, během které se přesouvá tekutina z intracelulárního do extracelulárního prostoru za účelem snížení hyperosmie extracelulární tekutiny. Současně je redistribuována tekutina z intersticia do intravaskulární oblasti, aby bylo zabráněno poklesu objemu krve a zajištěno prokrvení vnitřních orgánů. Zvyšuje se sekrece vazopresinu i tonus sympatiku a snižuje se glomerulární filtrace, což vede k zvýšené produkci reninu. V důsledku těchto dějů se zpětně resorbuje sodík a voda, díky čemuž se snižuje produkce moči. Ztráty vody jsou sníženy, ale ne eliminovány, proto dochází k aktivizaci pocitu žízně pro opětovné obnovení tekutin. Proces opětovné náhrady tělních tekutin nazýváme dle Meyer et al. (2016) rehydratací až do stavu úplné rehydratace, kdy dojde k obnovení euhydratace jedince.

Knechtle et al. (2012) doplňují, že ztráty tekutin ve vztahu k intenzitě cvičení přiměřeně působí také na tělesnou hmotnost. Dle Chevronta a Keneficka (2014) se ztráty tělesných tekutin u sportovců značně liší stejně jako návyky ve vztahu k hydrataci a rehydrataci. Meyer et al. (2016) uvádí, že jedním z hlavních rizik pro výkon sportovce napříč různými disciplínami je dehydratace. Výkon je zastřešující termín, který nejčastěji popisuje důležité sportovní výsledky. Lze ho definovat a hodnotit podle úspěchu, stavu kognitivních funkcí nebo celkového zlepšení schopnosti. V důsledku dehydratace dochází k zatížení neuromuskulární, kognitivní a metabolické složky organismu, díky čemuž dochází k ovlivnění sportovní dovednosti a tím i výkonu.

Vilikus et al. (2015) popisuje jednotlivé systémové příznaky ztrát tekutin ve vztahu k tělesné hmotnosti. Při ztrátě tekutin odpovídající 1 % tělesné hmotnosti mírně stoupá tělesná teplota. Avšak pokud hodnota úbytku tekutin dosáhne na 1 % až 2 % tělesné hmotnosti, zhorší se výkon na úrovni rychlostní, silové, vytrvalostní i obratnostní. V této fázi dochází ke vzniku pocitu žízně. Ztráty dosahující 5 % tělesné hmotnosti se vyznačují křečemi, tremorem, suchostí jazyka, pocitem na zvracení a relativní tachykardií. Takové snížení je spjato s razantním poklesem výkonu až o 30 %. Úbytek o 6 % až 10 % tělesné hmotnosti vede k bolestem hlavy, závratím, pocitu vyčerpání, halucinacím, zastavení tvorby moči a potu, horečce, edému jazyka a oběhovému selhání.

Udržení bilance tělesných tekutin okolo 2 % tělesné hmotnosti je podle Keneficka (2018) zásadní a závisí především na prostředí, intenzitě cvičení a délce trvání aktivity. Pro sportovce

vykonávající aktivity s nižší intenzitou po dobu 1 až 2 hodin, zejména v chladnějším prostředí, nemusí být rehydratace zcela klíčová, jelikož se ztráty tělesné hmotnosti nemusí přiblížit 2 %. Existují však sportovní disciplíny, kde vlivem dlouhotrvajícího výkonu, vyšší intenzitě cvičení či teplotě a vlhkosti prostředí, může dojít k významnému úbytku tělesné hmotnosti, který se projeví především v zhoršení termoregulace, funkce kardiovaskulárního systému a výkonnosti.

Příkladem může být dle publikace Keneficka a Cheuvronta (2012) procentuální úbytek tělesné hmotnosti u běžců o hmotnosti 60 až 80 kg na vzdálenostech od 5 do 42 km. U rekreačních participantů dosahujících mírnějšího tempa běhu na vzdálenostech do 21 km (130 minut) nelze pozorovat úbytek tekutin vyšší 2 % tělesné hmotnosti ani v případě zvýšené teploty prostředí. Avšak v případě delších úseků až maratonských běhů (270 minut) dochází, v případě zvýšené teploty prostředí blížící se 30° C, u participantů o hmotnosti 60 kg ke ztrátě až 2,5 % tělesné hmotnosti a u 80kg participantů ke ztrátě až 3 % tělesné hmotnosti. U soutěžních participantů dosahujících vyššího tempa běhu je úbytek tekutin na vzdálenostech do 21 km (95 minut) nižší než 2 % tělesné hmotnosti v mírném a teplejším prostředí. Během delších tratí dosahujících až maratonské vzdálenosti (200 minut) dochází k významnému snížení tekutin u běžců účastnících se soutěže v obou typech prostředí. Ztráty tělesné hmotnosti u běžců v prostředí o teplotě 22° C o hmotnosti 60 kg činí přes 2,5 % a u 80kg běžců až 3 %. Dosahuje-li teplota prostředí 30° C, činí úbytek u 60kg sportovců až 3,5 % ztráty tělesné hmotnosti a u 80kg sportovců skoro 4 % ztráty tělesné hmotnosti.

2.1.7 Charakteristika vybraných nápojů ve sportovní sféře

Klasifikace sportovních nápojů představuje složitý úkol vzhledem k široké škále produktů s různým složením, účelem a způsobem použití. Tato kapitola se zabývá pouze okrajově nápojům a jejich charakteristice ve vztahu ke sportu.

Dle Klimešové (2016) můžeme sportovní nápoje podle koncentrace minerálních látek rozdělit na:

- hypotonické,
- izotonické,
- hypertonické.

Klimešová (2016) uvádí, že hypotonické nápoje mají nižší koncentraci rozpuštěných látek, než je tomu v případě krve, což se odráží také v hodnotě jejich osmolality pohybující se do 250 mmol/kg. Blow (2019) doplňuje, že tento druh nápojů vytváří „příznivý osmotický gradient“, jelikož voda v organismu proudí prostřednictvím osmózy přes střevní stěnu

do krevních cév a pohybuje se z oblasti s nižší koncentrací rozpuštěné látky (střeva) do oblasti s vyšší koncentrací (krev). Měly by být tedy využity, pokud je primárním cílem hydratace sportovce. Toto tvrzení potvrzuje Klimešová (2016) a upřesňuje, že je to především z důvodu vlastností potu, který má také hypotonický charakter.

Izotonické nápoje mají podle Klimešové (2016) podobnou koncentraci rozpuštěných látek jako vnitřní prostředí organismu, kdy se osmolalita pohybuje okolo 290 mmol/kg. Ruiz a Garcia (2022) upozorňují, že tyto nápoje většinou obsahují sacharidy a minerální soli, které se díky podobnému osmotickému tlaku nápoje s krví rychle absorbují a tím poskytují prevenci proti dehydrataci, udržení výkonu, oddálení únavy a urychlují regeneraci. Colakoglu et al. (2016) doplňují, že konzumací izotonických nápojů před cvičením se také předchází poškození svalů. Klimešová (2016) tvrdí, že tyto nápoje lze využít i v regenerační fázi v případě významných ztrát minerálních látek potem.

Hypertonické nápoje jsou koncentrovanější než nápoje izotonické a jejich hodnota se ve vztahu k osmolalitě dle Klimešové (2016) pohybuje okolo 340 mmol/kg. Blow (2019) uvádí, že ve většině případů je to vlivem obsahu velkého množství sacharidů pro maximalizaci dodávky energie především u vysoce intenzivních aktivit. Vilikus et al. (2015) zdůrazňuje, že hypertonické nápoje mohou prohloubit dehydrataci sportovce a tím ohrozit jeho výkon.

Ve vztahu ke koncentraci sacharidů v tekutině rozděluje Klimešová (2016) sportovní nápoje na:

- rehydratační,
- rehydratačně–energetické,
- energetické.

Rehydratační nápoje mají podle publikace Klimešové (2016) nízký obsah sacharidů pohybující se v rozmezí 2 % až 3 % a jsou vhodné pro opětovnou hydrataci organismu. Jejich zařazení je vhodné u krátkodobějších výkonů nepřekračujících 2 hodiny a při aktivitách v prostředí s vysokými teplotami, kdy je rehydratace zásadní.

Klimešová (2016) uvádí, že při výkonech trvajících déle než 2 hodiny by měl sportovec konzumovat rehydratačně–energetické nápoje obsahující zhruba 4 % až 8 % sacharidů. Orrù et al. (2018) doplňují, že takovéto množství sacharidů v nápoji oddaluje vyčerpání svalového glykogenu a udržuje sportovní výkon. Zároveň tato koncentrace sacharidů dle Klimešové (2016) výrazně neovlivňuje dobu vstřebání vody, což je pro sportovce výhodou.

Energetické nápoje mohou obsahovat dle Klimešové (2016) sacharidy v různorodých koncentracích od 8 % až po hodnoty převyšující 20 %. Využívají se při extrémně náročných

aktivitách, během kterých je nutné energii doplňovat. Naproti tomu nevýhodou konzumace těchto nápojů je výrazné zpomalení vstřebání nápoje, což může vyústit v gastrointestinální potíže.

Gutiérrez-Hellín a Varillas-Delgado (2021) upozorňují, že je třeba rozlišovat mezi energetickými nápoji a tradičními nápoji, které se často mylně seskupují. Mezi tradiční nápoje můžeme zařadit kávu, čaj, nealkoholické nápoje typu cola, izotonické, hypotonické a hypertonické sportovní nápoje. Energetické nápoje se však vyznačují vysokým obsahem kofeinu, který se běžně kombinuje s velkým množstvím vitamínů, minerálů, taurinu, aminokyselin a různých směsí fytochemikálií. Basrai et al. (2019) uvádí, že ačkoli existují komplexní důkazy o pozitivní souvislosti mezi konzumací těchto nápojů a zlepšeným sportovním výkonem, musíme brát v potaz také rizika ve smyslu potenciálních kardiovaskulárních problémů v důsledku hypertenze, změněného spánkového režimu u dospívajících, zhoršení duševních chorob a fyziologické závislosti.

2.2 Charakteristika močového systému

Pro zachování lidského organismu je nutná látková výměna zabezpečující vstřebání živin a generování odpadních látek jako vedlejší produkt metabolických procesů. Rokyta et al. (2015) uvádí, že základní odpadní látky jako voda, oxid uhličitý, močovina a vybrané ionty jsou eliminovány několika systémy, z nichž nejdůležitějším je močová soustava. Tento systém je schopen odstraňovat ve vodě rozpuštěné odpadní látky, vylučovat nepotřebné produkty a udržovat homeostázu.

2.2.1 Funkční anatomie ledvin

Ledviny, *renes*, jsou párovými uropoetickými orgány uloženy v retroperitoneálním prostoru a dle popisu Dylevského (2009) mají tvar ventrodorzálně oploštěného bobu se zaobleným kraniálním i kaudálním pólem a konkávním mediálním okrajem, *hilus renale*. Čihák (2013) upřesňuje, že tento prostor tvoří místo vstupu a výstupu cév i nervů a výstupu odvodných močových cest. Fiala et al. (2015) uvádí, že vlastní parenchym ledvin je obklopen tuhým vazivovým pouzdem, *capsula fibrosa*, pokrytým tukovým obalem, *capsula adiposa*, na který naléhá Gerotova povázka, *fascia renalis*.

Čihák (2013) uvádí, že ledvinový parenchym má červenohnědé zbarvení a na jeho řezu můžeme makroskopicky rozlišit dvě základní struktury:

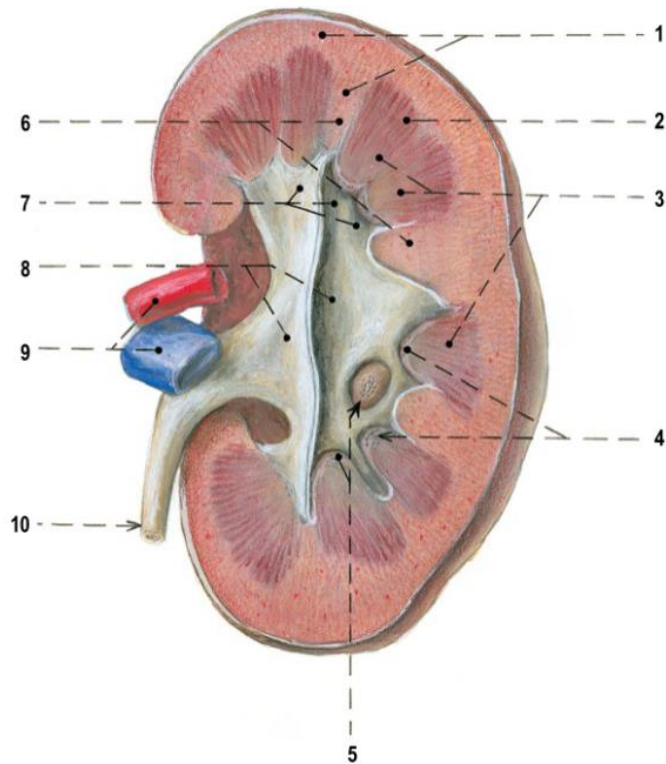
- kůru ledvin, *cortex renalis*,
- dřeň ledvin, *medulla renalis*.

Fiala et al. (2015) uvádí, že v ledvinovém parenchymu nalezneme hlavní funkční uropoetickou jednotkou nazývanou nefron. Tesař et al. (2015) rozdělují nefrony podle polohy na korové, uložené v kůře ledvin, a juxtamedulární nacházející se na rozhraní ledvinové kůry a dřene.

Čihák (2013) popisuje, že základními stavebními složkami nefronu jsou Malpighiho tělísko, *corpusculum renale Malpighi*, tvořeno Bowmanovým pouzdem, *capsula glomeruli*, a cévním klubičkem, *glomerulus*, dále proximální kanálek, *tubulus proximalis*, Henleova klička, *ansa nephroni Henlei*, distální kanálek, *tubulus distalis*, sběrací kanálek, *tubulus colligens*, papilární vývod, *ductus papillaris*. Uspořádání jednotlivých struktur na řezu ledviny zobrazuje Obrázek 3.

Obrázek 3

Popis jednotlivých struktur ledviny



Poznámka. 1 cortex renalis, 2 medulla renalis, 3 pyramides renales, 4 papillae renales, 5 area cribrosa a na ní foramina papillaria, 6 columnae renales, 7 calices renales, 8 pelvis renalis, 9 a. et v. renalis, 10 ureter (Čihák, 2013)

Čihák (2013) uvádí, že Bowmanovo pouzdro vyplňuje cévní klubičko, jež se skládá z mnoha kapilárních klíčků přivádějících krev do parenchymu ledvin, *arteriola glomerularis afferens*, a odvádějících krev z parenchymu ledvin, *arteriola glomerularis efferens*. Místo vstupu těchto tepének označujeme jako cévní pól. Prostor mezi jednotlivými kapilárami vyplňují dle Rokyty et al. (2015) mezangiální buňky mající podobnou funkci jako hladká svalovina.

Čihák (2013) popisuje, že Bowmanovo pouzdro je formováno vnějším listem plynule přecházejícím v buňky stěny ledvinových kanálků a vnitřním listem složeným z podocytů přiléhajícím na kapiláry klubička. Dylevský (2019) upřesňuje, že v Malpighiho tělísku probíhá filtrace protékající krevní plazmy, z níž vzniká glomerulární filtrát neboli primární moč, která následně odtéká do proximálního kanálku. Trojan et al. (2003) doplňují, že filtrační membránu Malpighiho tělíška tvoří především kapilární endotel propustný pro rozpuštěné složky plazmy, bazální membrána zachycující makromolekulární látky a interpedunkulární štěrby podocytů s volným průchodem pro částice do průměru 4 nm.

Dále Čihák (2013) specifikuje, že proximální kanálek začíná v oblasti cévního pólu v podobě stočeného kanálku, *pars convoluta*, a dále pokračuje jako přímý úsek, *pars recta*, přecházející na pomezí ledvinové kůry a dřeně v Henleovu kličku. Orel (2019) uvádí, že proximální kanálek umožňuje tubulární resorpci primární moči, díky níž se zde zpětně vstřebává až 70 % vody v nezávislosti na stupni hydratace, dále sodík, glukóza, aminokyseliny, fosfáty a další nízkomolekulární látky. Podstatná je také tubulární exkrece zahrnující vylučování vodíkových a amonných iontů do filtrátu. V důsledku těchto dějů vzniká dle Trojana et al. (2003) moč izotonického charakteru.

Izotonická tekutina dále proudí dle Orla (2019) do sestupného raménka Henleovy kličky, kde dochází k resorpci vody do dřeně, díky čemuž se tekutina stává hypertonickou a v této formě se dostává do vzestupného raménka Henleovy kličky. Zde se vlivem funkce systému transportních pump odčerpávají sodné a chloridové ionty, mění tonicita intersticia a koncentrace iontů v moči. Vzniká hypotonická moč vstupující dle Čiháka (2013) do přímého úseku, *pars recta*, distálního tubulu, který spojuje macula densa s jeho stočeným kanálkem, *pars convoluta*. Trojan et al. (2003) tvrdí, že v distálním tubulu se vyrovnává tlak moči s okolním intersticiem a dochází k resorpci vody až na 5 % původního glomerulárního filtrátu. Orel (2019) doplňuje, že díky působení aldosteronu v distálním tubulu se zpětně vstřebávají také sodné ionty, které jsou přitom vyměňovány za ionty draselné. Merkunová a Orel (2008) zdůrazňují, se jedná o fakultativní resorpci, jejíž výši ovlivňuje stupeň hydratace organismu a osmolalita extracelulární tekutiny. Významnými buňkami tohoto úseku jsou již zmíněné macula densa, které ve své publikaci specifikují Peti-Peterdi a Harris (2010) jako senzory reagující na změny koncentrace solí moči a množství filtrátu. Tyto buňky generují parakrinní signály, které ovlivňují juxtaglomerulární aparát, jehož funkcí je regulace sekrece reninu. Orel (2019) uvádí, že výsledkem průchodu moči distálním kanálkem je hypotonická tekutina odtékající do sběracího kanálku.

Čihák (2013) upřesňuje, že ve sběrném kanálku dochází k resorpci vody do hypertonické dřeně ledvin pod kontrolou vazopresinu, čímž dochází k zahuštění moči. Merkunová a Orel (2008) konstatují, že v tomto úseku dochází ke vzniku definitivní moči. Její objem i složení závisí na množství vstřebané vody a sodných iontů řízených aldosteronem a vazopresinem, jejichž výdej je regulován potřebami organismu v závislosti na udržení homeostázy.

2.2.2 Funkční anatomie vývodných cest močových

Dalším oddílem močového systému jsou vývodné močové cesty, jež můžeme dle Orla (2019) rozlišit na ledvinové kalichy, *calices renales*, ledvinovou pánvičku, *pelvis renalis*, močovod, *ureter*, močový měchýř, *vesica urinaria*, a močovou trubici, *urethra masculina ef femina*.

Dylevský (2009) upřesňuje, že výše zmíněné sběrací kanálky jednoznačně nenáleží do žádného oddílu, ale jsou spojovacím prvkem mezi nefronem a ledvinových kalichem. Merkunová a Orel (2008) uvádí, že definitivní moč ze sběrných kanálků odtéká do ledvinových kalichů. Fiala et al. (2015) popisuje, že mají trychtýřovitý tvar a jejich spojením vzniká ledvinová pánvička, kde se podle Orla (2019) shromažďuje moč, která vyúsťuje do tubicovitého močovodu. Fiala et al. (2015) uvádí, že močovod probíhá z retroperitonea do oblasti pánve, kde je definitivní moč transportována díky peristaltickým vlnám hladké svaloviny močovodu do močového měchýře nacházejícího se dle Hansena (2019) subperitoneálně za sponu stydkou.

Močový měchýř popisuje Fiala et al. (2015) jako vakovitý jasně červený útvar složený z vrcholu, *apex*, těla, *corpus*, a báze, *fundus*. Do báze se zanořují močovody a ventrálně v oblasti hrdla, *cervix*, měchýře se nachází močová trubice, *uretra*. Svrchní část stěny močového měchýře tvoří dle Dylevského (2009) vazivový obal fixující měchýř v pánevním kruhu. Fiala et al. (2015) uvádí, že močový měchýř je vyplněn sliznicí složenou v řasy, které se vyhlazují při naplnění močí. Hladká svalovina močového měchýře slouží především k jeho vyprázdnění a kolem hrdla tvoří smyčku na bázi svěrače nazývanou jako vnitřní sfinkter, *musculus sphincter vesicae*. Čihák (2013) doplňuje, že u mužů je hladká svalovina hrdla cirkulární a obkružuje močovou trubici až na prostatu, tudíž zastává roli sfinkteru močové trubice. Naproti tomu u žen má hladká svalovina charakter provazců procházejících šikmo spirálně až podélně do stěny močové trubice, proto v tomto případě není hrdlo opatřeno vnitřním sfinkterem. Ve vývodných cestách močových nalezneme zevní sfinkter, *musculus sphincter uretrae*, tvořen příčně pruhovanou svalovinou pro volní uzavření močové trubice. Fiala et al. (2015) uvádí, že pohlavní rozdíly nalezneme i v délce močové trubice, která je u mužů zhruba o 15 cm delší než u žen. Zároveň je močová trubice u muže součástí reprodukčního systému.

Močový měchýř slouží jako rezervoár moči a dle Hansena (2019) je schopen pojmout až 1 000 ml tekutiny. Petřek (2019) uvádí, že při překročení hodnoty 300 ml vzniká pocit urgencye na močení a následně dochází k vyprázdnění močového měchýře neboli mikci.

Hansen (2019) popisuje, že mikce je dynamický proces začínající relaxací hladké svaloviny stěny měchýře, *m. detrusor*, vlivem sympatického nervstva, díky čemuž je možné měchýř naplnit močí přicházející z močovodu. Mareš et al. (2005) uvádí, že působením zvýšeného tlaku vyvolaného přísunem tekutiny dojde k stimulaci receptorů ve stěně měchýře, které vysílají

tento signál pomocí aferentních drah do míchy, *medulla spinalis*, v úrovni sakrálního segmentu S2 až S4 a dále do mozkové kůry, *cortex cerebri*. Hansen (2019) doplňuje, že dochází k aktivizaci parasympatických eferentních drah, jenž zahajují reflexní kontrakci hladké svaloviny měchýře. Specificky u mužů relaxují vnitřní svěrač, *musculus sphincter internus*, avšak u žen více stimulují pocit urgency na močení. Somatická eferentní vlákna poté způsobují u obou pohlaví volní relaxaci zevního svěrače, *m. sphincter urethrae externus*, čímž dochází k mikci, kdy moč odtéká do močové trubice a následně z těla. Po vyloučení moči se opět kontrahuje zevní svěrač.

2.2.3 Základní vlastnosti moči

Během jednoho dne se dle Dylevského (2019) v lidském těle produkuje až 180 l primární moči. Tento objem je následně upraven ledvinami dříve popsanými procesy zahrnující filtraci, resorpci a sekreci. Finálním produktem funkční činnosti ledvinového parenchymu je dle Rokyty et al. (2015) definitivní moč, označovaná také jako sekundární moč. Trojan et al. (2003) uvádí, že v definitivní moči nalezneme většinu látek obsažených v krevní plazmě a také látky absorbované z ledvinového parenchymu (Tabulka 1). Složení definitivní moči je komplexním tématem, které nám poskytuje důležité informace o stavu našeho organismu a je důkazem toho, zda ledviny splnily svou fyziologickou funkci.

Mourek (2012) uvádí, že denní množství definitivní moči dosahuje hodnoty až 1 500 ml a je nazýváno jako diuréza. V případě zvýšeného výdeje moči nad 2 000 ml za den hovoříme o polyurii. Naopak při snížení výdeje objemu moči pod 500 ml za den se jedná o oligourii. Merta (2011) upozorňuje, že významný pokles či úplné zastavení denní diurézy je označováno jako anurie, kdy tvorba moči klesá pod 50 ml za den. Tento stav se rozvíjí z oligourie a je obvykle projevem selhání ledvin.

Tabulka 1

Přehled látek obsažených v krevní plazmě a moči

Substance	Plazma	Moč	Jednotka
H ₂ O	90–93	95	%
Bílkoviny, tuky a jiné koloidy	68–84	–	g/l
Glukóza	4,0–6,2	–	mmol/l
Na ⁺	136–148	150–170	mmol/l
Cl ⁻	95–110	159–170	mmol/l
Močovina	3,0–7,6	192–365	mmol/l
Kyselina močová	215–420	2,04–3,96	mmol/l
NH ₄ ⁺	12,0–55,0	480–2200	mmol/l
Ca ²⁺	2,15–2,61	2,5–5,5	mmol/l
Mg ²⁺	0,66–0,94	1,2–2,5	mmol/l
Anorganický P	0,65–1,40	10,4–25,9	mmol/l
Kreatinin	65–110	4,35–13,2	μmol/l

Poznámka. Převzato a upraveno dle Trojana et al. (2003)

2.2.4 Vyšetření moči

Kawaciuk (2009) uvádí, že vyšetření moči je jednou z cenných diagnostických metod, kterou lze rozdělit do tří sektorů:

- fyzikální vyšetření moči,
- chemické vyšetření moči,
- vyšetření močového sedimentu.

Fyzikální vyšetření moči

Fyzikální vyšetření moči dle Kawaciuka (2009) zahrnuje barvu, zkalení, specifickou hmotnost, osmolalitu a pH moči. Moč by měla být za normálních podmínek čirá a světle žlutá, díky přítomnosti pigmentu urochromu. Barva moči se může měnit v závislosti na její koncentraci, ale také vlivem přítomnosti infekce, metabolických produktů či po užití určitých léků a potravin. Zkalení je obvykle zapříčiněno fosfaturii způsobenou nejčastěji vypitím velkého množství mléka, ovšem příčinou může být také vysrážení bílkovin při proteinurii a fibrinové nálezy.

Dalším důležitým parametrem je dle Kawaciuka (2009) specifická hmotnost moči pohybující se normálně v rozmezí 1,003 až 1,030 kg/m³. Vanková a Maříková (2022) upřesňují, že specifická hmotnost je dána poměrem hustoty moči a destilované vody závisící na koncentraci molekulové hmotnosti rozpuštěných částic v moči. Nízké hodnoty okolo 1,010kg/m³ jsou dle Kawaciuka (2009) často způsobeny hypostenurií spojenou s diabetes insipidus nebo izostenurií v důsledku renálních poškození. Termín zředěná moč používáme, pokud hodnota klesne pod 1,008 kg/m³. Pokud jsou hodnoty moče nad 1,020kg/m³, označujeme ji za koncentrovanou. Specifická hmotnost je považována za jedno z nejjednodušších hodnocení stavu hydratace.

Vanková a Maříková (2022) uvádí, že specifická hmotnost koreluje s osmolalitou s výjimkou přítomnosti makromolekul jako jsou například bílkoviny. Jabor et al. (2008) upozorňuje, že i přes tento vztah není možné nahradit měření osmolality měřením specifické hmotnosti. Dle Kawaciuka (2009) je osmolalita určena množstvím osmoticky aktivních látek vyloučených do moči. Fyziologické rozmezí osmolality v séru je od 275 do 295 mmol/kg, avšak osmolalita moči může překonat tyto hranice a dosahovat hodnot od 50 do 1 200 mmol/kg. Je nutno brát v potaz, že tyto hraniční limity jsou většinou dosaženy při maximálním zředění a maximální koncentraci. Běžné hodnoty osmolality moči se pohybují mezi 300 až 900 mmol/kg. Dle Vankové a Maříkové (2022) se můžeme setkat se stavem izostenurie, kdy má moč stejnou osmolalitu jako plazma, což může být důvodem renální insuficience.

Hodnota pH moči se dle Kawaciuka (2009) fyziologicky pohybuje v rozmezí 4,5 až 7,0. Racek et al. (2006) uvádí, že pH moči ovlivňuje řada faktorů, z nichž stěžejní je potrava – rostlinná moč alkalizuje, živočišná naopak acidifikuje. Výrazná změna hodnoty pH může být také způsobena vlivem poruch acidobazické rovnováhy, kompenzační činností ledvin, infekcemi i některými léky.

Chemické vyšetření moči

Chemické vyšetření moči dle Kawaciuka (2009) při běžné diagnostice zahrnuje detekci bílkovin, glukózy, ketolátek a krevního barviva v moči. Za fyziologických podmínek nemá být bílkovina v moči prokazatelná. Její denní hodnoty v moči se však mohou pohybovat v rozmezí 80 až 150 mg z důvodu přítomnosti albuminů, sérových globulinů a tkáňových bílkovin, jejichž hlavní komponentou je Tammův-Horsfallův protein. Za horní hranici normy proteinurie můžeme považovat denní koncentraci bílkovin v moči dosahující hodnoty 150 až 200 mg/l (Kawaciuk, 2009). Vachek et al. (2019) uvádí, že proteinurie může být hemodynamicky podmíněna nebo způsobena poruchami glomerulární a tubulární funkce, diabetickým

onemocněním ledvin, sníženou zpětnou resorpcí či překročením kapacity tubulární zpětné resorpce a katabolizace.

Glukóza je filtrována glomeruly a následně reabsorbována buňkami proximálního tubulu, proto se v moči vyskytuje ve stopovém množství, které nemá signifikantní význam. Pokud je dosaženo tubulárního maxima a dále již nelze resorbovat glukózu tubulárními buňkami, nastává stav glykosurie. Její příčinou může být hyperglykémie typická pro diabetes mellitus, snížený tubulární práh pro glukózu nebo hyperkinetická cirkulace v těhotenství (Racek et al., 2006).

V případě prokázání přítomnosti ketolátek v moči hovoříme dle Kawaciuka (2009) o ketonurii. Zvýšené vylučování ketolátek v moči poukazuje na zvýšenou lipolýzu, zvýšenou tvorbu neesterifikovaných mastných kyselin a zvýšenou produkci acetylkoenzymu A. Podle Racka et al. (2006) tento stav vzniká v momentě, kdy tělo získává energii především z mastných kyselin, což může nastat v případě hladovění, nevhodných diet, dekompenzace diabetu mellitu nebo vyčerpání svalového glykogenu po dlouhodobém fyzickém zatížení. Zbarvení moči může být dle Chrobáka et al. (2007) způsobeno červenými krvinkami neboli hematurii nebo přítomností krevního barviva hemoglobinu – hemoglobinurií, kdy se v močovém sedimentu nenachází červené krvinky. Čechová a Matoušková (2023) řadí mezi příčiny hematurie primární glomerulonefritidy, sekundární glomerulopatie, infekce, urolitiázy, cévní onemocnění ledvin, tumory a další. Hemoglobinurie může být projevem hemolytické anemie nebo může vzniknout jednorázově jako potransfuzní reakce (Vokurka & Hugo, 2015).

Kawaciuk (2009) upozorňuje, že moč obsahuje i organické složky, z nichž nejdůležitější představují sloučeniny obsahující dusík – močovina a kreatinin. Racek et al. (2006) uvádí, že močovina je konečný metabolit dusíku aminokyselin. Vzniká v játrech v procesu malého Krebsova cyklu a vylučuje se glomerulární filtrací, přičemž se zhruba 40 % v tubulech opět vstřebává. Kreatinin vzniká ve svalové tkáni jako konečný produkt kreatinu a kreatinfosfátu. Stejně jako močovina se vylučuje glomerulární filtrací, avšak při průtoku tubuly se jeho množství v primární moči nemění.

Mezi anorganické složky nacházející se v moči řadíme dle Kawaciuka (2009) kationy (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+) a anionty (Cl^- , SO_4^{2-} , HPO_4^{2-}), které jsou určeny především skladbou stravy.

Další látky, které Kawaciuk (2009) popisuje v rámci chemického vyšetření moči jsou aminokyseliny proteinů se specializovanou funkcí (aktin, kolagen, myozin), konjugáty, metabolity hormonů (katecholaminy, steroidní hormony, serotonin) a pigmentů (urobilinogen).

Pro diagnostiku některých z výše uvedených parametrů jako specifická hmotnost, pH, bílkoviny, glukóza, ketolátky, erytrocyty a jiných komponent lze využít diagnostické proužky. Jedná se semikvantitativní metodu využívanou pro chemickou analýzu moči. Lze využít diagnostické proužky s více reagenčními zónami detekující různé parametry nebo speciální

diagnostické proužky s jednou reagenční zónou pro stanovení konkrétního parametru. Jednozónové proužky se využívají například u stanovení glukózy a ketolátek u osob s diabetem mellitus (Dastyh & Breinek, 2015).

Dastyh a Breinek (2015) uvádí dva typy provedení chemické analýzy moče pomocí diagnostických proužků. Jde o analýzu automatickou za využití přístroje či manuální. Při provedení automatické formy analýzy dojde k aplikaci moči přístrojem na jednotlivé reagenční zóny proužku. Po proběhnutí reakce dojde k změně zbarvení, která je následně vyhodnocena za pomoci reflexního fotometru. Racek et al. (2006) blíže popisuje zásady manuálního provedení chemické analýzy. Vyšetřující na okamžik ponoří diagnostický proužek do moči tak, aby nedošlo k vymytí reagensů. Každý zkoumaný parametr na proužku se hodnotí po uplynutí určitého času od vyjmutí z moči. Tento čas se může lišit v závislosti na zkoumaném parametru nebo výrobci daných proužků. Po uplynutí stanoveného času dojde k vizuálnímu porovnání zabarvené zóny s výslednou škálou na tubě nebo v příbalovém letáku. Analýza je ovlivněna subjektivním vizuálním vyhodnocením, dodržením timingu jednotlivých fází diagnostického procesu a množstvím opakování činnosti v praxi.

Vyšetření močového sedimentu

Vyšetření močového sedimentu patří k základním vyšetřovacím metodám při klinickém podezření výskytu patologického jevu. Vyšetření se provádí na vzorku první ranní moči jednu hodinu od odběru. Poté dojde k centrifugaci 10 až 15 ml moči po dobu 5 minut při 3 000 otáčkách za sekundu. Následně se sediment slijí a resuspenduje v 1 ml zbylé moči. Po protřepání sedimentu se jedna kapka nanese na sklíčko a analyzuje se pod mikroskopem při zvětšení 100× až 400×, kdy jedno zorné pole představuje 1 μ l. Mikroskopické vyšetření moči slouží k identifikaci přítomnosti částic, jako jsou erytrocyty, leukocyty, dlaždicové buňky, tubulární buňky, buňky přechodného epitelu, cylindrurie, krystaly a další (Kawaciuk, 2009).

2.3 Molekulární vodík

Vodík je bezbarvý plynný hořlavý chemický prvek zaujímající první místo v periodické tabulce prvků. Jedná se o nejjednodušší prvek v přírodě a nejjednodušší atom ve vesmíru (Ohno et al., 2012). Jolly (2024) uvádí, že atomární vodík má jádro obsahující proton s jednotkou kladného elektrického náboje a obal s jednotkou záporného elektrického náboje. Dvouatomovou agregaci vodíku označujeme jako molekulární vodík. Matei et al. (2018) doplňují, že molekulární vodík může jako nejmenší molekula plynu difundovat buněčnými membránami a prostupovat do celého organismu. Díky tomu může dle Ge et al. (2017) působit jako selektivní antioxidant, antifibrotický činitel a antiapoptický prvek.

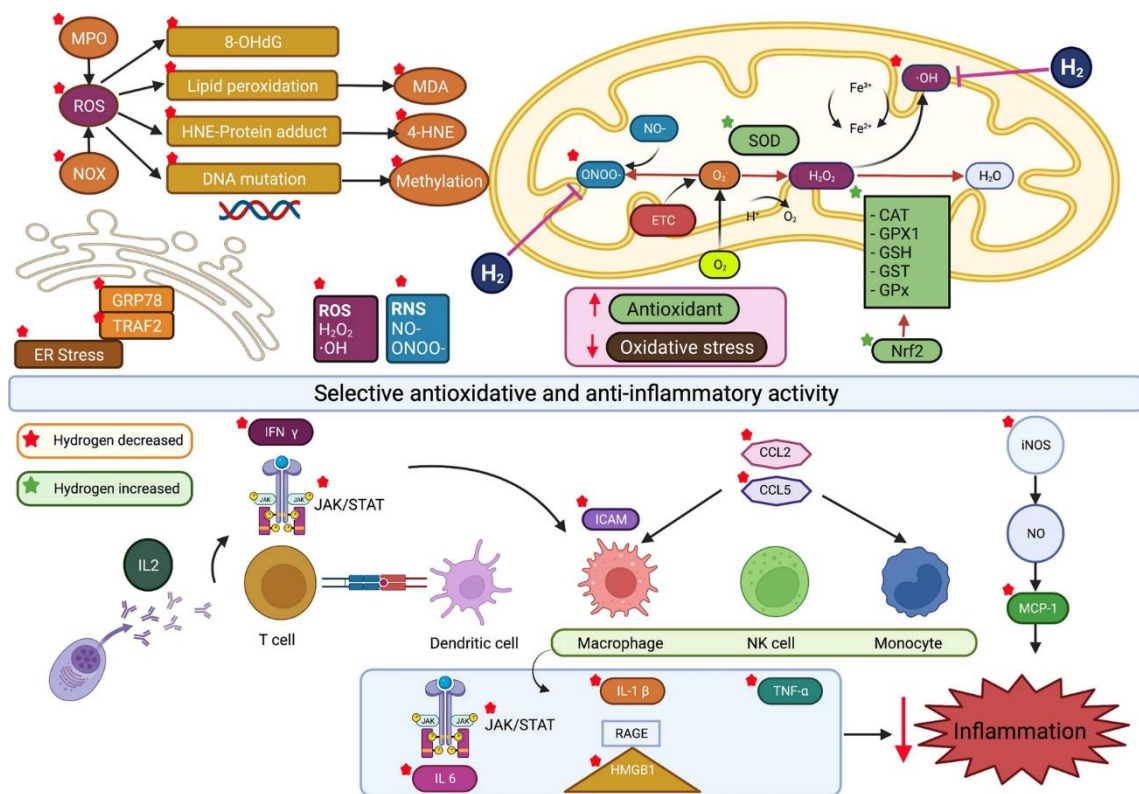
Ve spojitosti se selektivní antioxidantací Ohsawa et al. (2007) přisuzují molekulárnímu vodíku schopnost redukovat hydroxylový radikál ($\cdot\text{OH}$) a peroxynitrit (ONOO^-). Pizzino et al. (2017) doplňují, že hydroxylový radikál je běžně definovaná reaktivní forma kyslíku (ROS), která je produkována především mitochondriemi během fyziologických i patologických dějů v organismu. Jedná se o nejreaktivnější radikál ze všech volných radikálů *in vivo*. Produkce reaktivních forem kyslíku závisí na enzymatických a neenzymatických reakcích, které jsou úzce propojeny se vznikem reaktivních forem dusíku (RNS). Pacher et al. (2007) upozorňují, že významným produktem oxidu dusného je již zmíněný toxický peroxynitrit, který je nejvýkonnějším produktem volných radikálů, jelikož pro svůj vznik nevyžaduje přítomnost enzymu. Kumar a Pandey (2015) uvádí, že reaktivní formy kyslíku jsou běžně produkovány v omezeném množství a jsou důležitými sloučeninami, které se účastní regulace procesů zahrnujících udržování homeostázy a funkcí jako signální transdukce, exprese genů a aktivace receptorů. Ohta (2014) považuje molekulární vodík za redukční činidlo, které dokáže neutralizovat částice poškozující tělo jako již zmíněné ($\cdot\text{OH}$) a (ONOO^-) a téměř redukovat účinky O_2^- a H_2O_2 , aniž by byly dle Ohsawy et al. (2007) ohroženy fyziologicky prospěšné aktivity reaktivních forem kyslíku, což celkově přispívá ke snížení oxidačního stresu. Hussain et al. (2016) upozorňují, že pokud dojde k nadměrné produkci ROS v buňkách a tkáních, dojde ke vzniku oxidačního stresu, který může být inputem zánětlivé reakce. Eming et al. (2017) tvrdí, že zánět je považován za adaptivní odpověď těla způsobenou infekcí nebo poškozením tkáně, které může způsobit agregaci lokálních neutrofilů, monocytů a dalších imunitních buněk a uvolnění zánětlivých cytokinů jako je dle Shao et al. (2016) interleukin IL-1 β , IL-6 a tumor nekrotizující faktor- α (TNF- α). Orr et al. (2008) uvádí, že dochází také k aktivaci nukleárních faktorů kappa B (NF- κ B), což jsou klíčové transkripční faktory ovlivňující imunitní proces, zánětlivou odpověď a buněčnou smrt neboli apoptózu. Obeng (2021) doplňuje, že s TNF- α interagují receptory iniciující vnější dráhu právě zmíněné apoptózy. Vnitřní apoptotická dráha úzce souvisí

s antiapoptickým proteinem Bcl-2 a proapoptotickými Bax proteiny. Obě apoptotické dráhy se sbíhají ve společném koncovém bodě, což vede k aktivaci kaspázy-3 a fragmentaci DNA. Rahman et al. (2023) uvádí, že molekulární vodík inhibuje syntézu a uvolňování prozánětlivých faktorů TNF- α , interleukinu IL-1 β , IL-6 a NF- κ B, díky jejichž inaktivaci se dle Xie et al. (2011) snižuje apoptóza buněk. Saengsin et al. (2023) upozorňují, že ochranný účinek molekulárního vodíku probíhá prostřednictvím různých cest, včetně signální dráhy PI3K/Akt a aktivace signalizace Nrf2/HO-1, díky čemuž dochází k zvýšení hladin silného antioxidantu HO-1 (Obrázek 4).

Tian et al. (2021) uvádí, že v celém patologickém procesu oxidativního stresu se zánět, poškození buněk a apoptóza vzájemně provázejí a ovlivňují.

Obrázek 4

Eventuální mechanismy působení molekulárního vodíku



Poznámka. CAT kataláza, 4-HNE 4-hydroxyl-2-nonenal, 8-OHdG 8-hydroxydeoxyguanosin, CCL chemokin (C–C motiv), DNA deoxyribonukleová kyselina, ER endoplazmatické retikulum, ETC elektronový transportní řetězec, GPx glutathionperoxidáza, GPX1 glutathionperoxidáza 1, GRP78 glukózou regulovaný protein 78, GSH glutathionperoxid, GST glutathion-S-epoxid transferáza, HMGB skupina s vysokou mobilitou 1, ICAM intercelulární adhezní molekula, IFN γ interferon γ , IL interleukin, iNOS indukovatelná syntáza oxidu dusnatého, JAK/STAT kinázový/signální převodník a aktivace transkripční signální dráhy, MCP-1 monocytový chemotaktický protein-1, MDA malondialdehyd, MPO myeloperoxidáza, NK buňky „přirozený zabiják“, NOX Nox protein, Nrf2 nukleární erytroidní faktor 2, ·OH hydroxylové radikály, RNS

reaktivní dusíkaté druhy, ROS reaktivní formy kyslíku, PI3K fosfatidylinositol 3-kináza, SOD superoxiddismutáza, TNF- α tumor nekrotizující faktor- α , TRAF2 faktor 2 spojený s TNF (Saengsin et al., 2023)

2.3.1 Aplikace molekulárního vodíku

Fu a Zhang (2022) uvádí, že molekulární vodík lze aplikovat několika způsoby, mezi které patří inhalace plynného vodíku, podání hydrogenové vody, fyziologického roztoku nasyceného vodíkem či vodíkových nanokrystalů. Adzavon et al. (2022) zmiňují také využití molekulárního vodíku jako doplňku stravy ve formě hydrogenových tablet.

Ohta (2011) uvádí, že molekulární vodík lze inhalovat dodáním plynného vodíku přes okruh ventilátoru, obličejovou masku nebo nosní kanylu. Takto inhalovaný plynný vodík nepředstavuje žádné riziko výbuchu, je-li přítomen v koncentracích < 4 %. Výhodou tohoto typu saturace je rychlé působení v organismu, které lze efektivně využít k redukci akutního oxidativního stresu.

Ge et al. (2017) uvádí, že na rozdíl od plynného vodíku je perorálně podávaný solubilizovaný vodík v hydrogenové formě přenosný a jednoduše aplikovatelný. Kawamura et al. (2020) doplňují, že se jedná o jednu z nejpraktičtějších a nejbezpečnějších metod příjmu molekulárního vodíku ve vztahu ke každodennímu a sportovnímu režimu.

Asada et al. (2020) zmiňují různé metody přípravy hydrogenové vody, jako je elektrolýza vody při stejnosměrném nebo střídavém proudu, úprava vody vlivem magnetického pole, zurčením plynného vodíku ve vodě a modifikací vody pomocí minerálů.

Ačkoli má užití hydrogenové vody významné benefity, Ge et al. (2017) doplňují, že intravenózní aplikace fyziologického roztoku nasyceného vodíkem je výhodnější z hlediska přesnější informace o dávce molekulárního vodíku v krevním řečišti. Tento roztok lze podat také lokálně ve formě očních kapek. Dle Li et al. (2023) může mít molekulární vodík uplatnění v oftalmologické sféře, jelikož může působit na léčbu očních nádorů, šedého zákalu, syndromu suchého oka či poškození endotelu rohovky.

Asada et al. (2020) uvádí, že další možností využití hydrogenové vody je lázeň. Díky difuzní schopnosti je molekulární vodík schopen penetrovat do krevního řečiště přes kůži, vlasové folikuly, mazové a potní žlázy, což má za následek dilataci podkožních kapilár, čímž se zvyšuje podkožní prokrvení a zlepšuje stav pokožky.

Zhao et al. (2018) navrhli využití nanokrystalů hydridu palladia jako multifunkční nosič vodíku, který působí především lokálně v místě nádorového bujení. Tato metoda má nejen antionkologické účinky, ale také chrání normální buňky před poškozením hypertermií. Podle Fu a Zhanga (2022) lze hydrogenové nanokrystaly aplikovat nejen perorálně, ale také intravenózně.

Rosch et al. (2021) uvádí, že další možností perorálního podání jsou hydrogenové tablety, které rozpuštěním ve vodě generují vodík. Výhodou těchto tablet je dostupnost a rychlá příprava, která nevyžaduje přesnost hydrogenového generátoru ani jiné přístroje.

2.3.2 Molekulární vodík jako alternativa kofeinu

Kofein se stal všudypřítomným ve sportovním světě a jeho účinky vzbuzují mnohé otázky nejen v oblasti sportu, ale i veřejného zdraví. Mechanismus účinku kofeinu ve sportovní sféře je provázen mnohými tezemi, které se průběžně modifikují.

Guest et al. (2021) představují varianty účinku kofeinu, z nichž zásadní je, že kofein má přímé účinky na svalovou kontrakci mobilizací iontů vápníků, které podporují aktivizaci motorických jednotek svalů, čímž může být zmírněna únava způsobena sníženým uvolňováním zmíněných iontů. Částečně může kofein působit také na facilitaci aktivity sodnodraselné pumpy, což způsobí efektivnější zapojení svalové excitace a kontrakce. Kofein působí na nervový systém cestou antagonismu adenosinových receptorů, což vede ke zvýšenému uvolňování neurotransmiterů, rychlosti zapojení motorických jednotek a potlačení bolesti. Výsledkem tohoto působení jsou pozitivní účinky na motorické i kognitivní procesy (Fiani et al., 2021).

Zanini et al. (2020) ve své studii porovnávají účinky jednorázové dávky kofeinu a hydrogenové vody (HRW) s pomocí vizuální analogové škály (VAS) a testu pozornosti (ANT) u 23 mladých mužů a žen ($21,6 \pm 1,3$ let) na vigilitu v případě spánkové deprivace (24 hodin). Ze studie vyplývá, že molekulární vodík má stimulační účinek na funkce mozku s akcentem na zlepšení zpracování sensorických stimulů. Todorovic et al. (2021) zkoumali vliv HRW na zvýšení pozornosti v porovnání s jinými nápoji u 16 mladých mužů i žen ($24,0 \pm 3,5$ let) po užití jednorázového nápoje HRW (8 ppm), kofeinu (50 mg), HRW i kofeinu či kontrolního nápoje (voda) po spánkové deprivaci (24 hodin) a půstu (12 hodin). Ve studii dále uvádí, že HRW i kofein stimulují metabolismus mozku, čímž zvyšují poměr cholinu a kreatinu bilaterálně v bílé i šedé hmotě frontální oblasti, zatímco HRW také ovlivňuje metabolismus v paracentrální oblasti mozku důležitou pro orientaci. Obě intervence mohou pozitivně ovlivnit metabolismus mozku spojený s výkonnými funkcemi a kognitivními procesy. Zanini et al. (2020) dále uvádí, že HRW během výzkumu nevykazovala žádné vedlejší účinky, a proto by mohla být bezpečnou a účinnou alternativou ke kofeinu, který může způsobit dle Todorovice et al. (2021) abstinenci příznaky.

Saimaiti et al. (2023) popisují antioxidační a antifibrotické účinky kofeinu podobné jako u molekulárního vodíku, ale upozorňují na rizika spojená s kofeinem jako rozvoj závislosti, nespavost, migrénu a další nežádoucí účinky. Childs et al. (2008) doplňují, že kofein může mít také vliv na rozvoj úzkosti. Pallarés et al. (2013) tvrdí, že mezi další vedlejší účinky kofeinu v dávce

vyšší než 9 mg/kg patří gastrointestinální potíže, zvýšení výdeje moči, zvýšení svalové bolesti, tachykardie a potvrzují výše uvedené příznaky jako úzkost, bolest hlavy, nespavost nebo poruchy spánku. Marx et al. (2016) upozorňují na natriuretické a diuretické účinky kofeinu. Rodak et al. (2021) uvádí, že kofein zvyšuje rychlost glomerulární filtrace, působí proti vazokonstrikci renální aferentní arterioly způsobené adenosinem prostřednictvím adenosinového receptoru (A_1R) během tubuloglomerulární zpětné vazby, inhibuje reabsorpci sodných kationtů na úrovni proximálních tubulů a narušuje hepatorenální reflex zprostředkovaný sympatickým nervovým systémem. Lohsiriwat et al. (2011) ve své studii u dospělých s příznaky hyperaktivního močového měchýře dospěli po užití kofeinového nápoje (4,5 mg/kg) k závěru, že kofein v této dávce podporuje časnou urgenci na močení a zvyšuje frekvenci mikce v porovnání s užitím bezkofeinového nápoje. Zvýšená produkce moči může vést k narušení vodní bilance lidského organismu a představuje riziko vzniku dehydratace, která je úskalím sportovního výkonu (Meyer et al., 2016). Této problematice se blíže věnují výše uvedené kapitoly.

Vzhledem k výše popsaným podobnostem kofeinu a HRW, zároveň s ohledem na nežádoucí účinky kofeinu ohrožující fyziologické funkce lidského organismu, se jeví právě molekulární vodík jako vhodnou alternativou hydratační strategie sportovců. Nabízí se proto otázka, jaký má hydrogenová voda jako suplement využitelný ve sportovní sféře vliv ve vztahu k výdeji tělesných tekutin. Existuje řada studií popisující benefity hydrogenové vody, přičemž její nežádoucí účinky nejsou známy (Aoki et al., 2012).

2.3.3 Využití molekulárního vodíku

Vlivům molekulárního vodíku a jeho účinkům na lidský organismus se věnuje celá řada vědeckých studií především pro jeho antioxidantní, antifibrotické a antiapoptické účinky (Ge et al., 2017). Jedná se o látku tělu přirozenou, jelikož vodík je přítomen v krvi a dechu v důsledku fermentace nestravitelných sacharidů střevními bakteriemi (Slezák et al., 2016). Zájem o využití vodíku vzrostl poté, co Ohsawa et al. (2007) uvedli průlomovou studii o molekulárním vodíku jako prostředku vedoucím k selektivní redukci volných hydroxylových radikálů a peroxynitritu. Od té doby bylo dle Johnsen et al. (2023) publikováno více než 2000 vědeckých publikací objasňujících hydrogenový potenciál z oblasti *in vitro* a *in vivo* ve studiích na zvířatech i lidech. Rozšiřující se množství literatury dokládá terapeutické účinky H_2 v řadě klinických studií ve vztahu k systémovým onemocněním. Hlavními oblastmi zájmu publikací a klinických studií z období 2010 až 2023 jsou kardiovaskulární, respirační, neurologická, imunitní a onkologická onemocnění (Johnsen et al., 2023).

Hayashida et al. (2008) studovali účinek inhalace plynu H₂ (< 4 %) na infarkt myokardu (IM) u hlodavců. Studie prokázala, že plyn H₂ redukuje rozsah IM v důsledku ischemicko-reperfučního poškození a zachovává funkci levé komory srdeční. Pilotní studie Katsumaty et al. (2017) se zaměřuje na vliv inhalace H₂ u 20 pacientů s IM se zvýšenými ST elevacemi (STEMI) rozdělených do skupiny inhalující H₂ (1,3 % H₂ s 26 % O₂) nebo kontrolní skupiny (26 % O₂). Tato studie ukázala, že inhalace H₂ během primární koronární intervence je bezpečná a může po 6 měsících od STEMI podporovat reverzní remodelaci levé komory srdeční. Rizikem vzniku IM je ateroskleróza, které se ve své studii u hlodavců věnovali Song et al. (2012). Výsledky naznačují, že podání vodíkem nasyceného fyziologického roztoku snižuje atero-susceptibilitu u lipoproteinu obsahujícího apolipoprotein B i aortální aterosklerózu u apolipoproteinu E a zlepšuje HDL funkčnost u hlodavců. Song et al. (2015) ve své další studii u hlodavců uvádí, že inhibiční účinky H₂ na apoptózu pěnových buněk pocházejících z makrofágů, které se projeví potlačením aktivace dráhy stresu endoplazmatického retikula a aktivací antioxidantní dráhy Nrf2, by mohly vést ke zlepšení stability aterosklerotického plátu.

Tang et al. (2023) provedli studii na 75 probandech s časným stádiem intersticiálního plicního onemocnění (ILD). Probandi byli náhodně rozděleni do dvou skupin. První skupině bylo podáno dvakrát denně 350 ml HRW (1,6 ppm) a druhé skupině N-acetylcysteinu (NAC) třikrát denně po 600 ml. Časová dotace experimentu byla 48 týdnů se zkoumáním změny od výchozí hodnoty v HRCT snímku. Míra zlepšení stavu na HRCT snímku u HRW skupiny byla 63,6 %, oproti tomu u skupiny NAC 39,5 %. Ze závěru studie vyplývá, že vodíková terapie vykazuje vyšší účinnost a bezpečnost ve srovnání s terapií NAC u pacientů s časným stádiem ILD. Singh et al. (2023) ve své studii podávali HRW (> 5 mmol/l) ve formě tablet s denní četností 3-0-2 (1 tableta rozpuštěná ve 200 až 300 ml vody) po dobu 4 týdnů 10 probandům (8 mužů a 2 ženy, 53 až 67 let) s chronickým plicním onemocněním (CHOPN – 7, bronchiální astma – 2, tuberkulóza – 1) se saturací 90 až 95 %. Podle výsledků plynové chromatografie byl celkový příjem H₂ odhadován na > 10 mmol/l za den. Tato studie ukázala, že využití HRW bylo přínosné pro zlepšení saturace O₂ u většiny pacientů (70 %). Také zjistila významný pokles parametrů oxidačního stresu.

Ono et al. (2017) hodnotili účinek dvoutýdenní inhalace plynu H₂ u 50 pacientů s mozkovým infarktem v akutním stádiu se skóre mírné až středně těžké škály National Institute of Health Stroke Scale (NIHSS = 2 až 6) rozdělených do dvou skupin. Polovina probandů (12 mužů a 13 žen, průměrný věk 76,0) inhalovala H₂ (3 %) 1 h dvakrát denně a druhá skupina (7 mužů a 18 žen, průměrný věk 73,3) dostávala konvenční intravenózní léky po dobu prvního týdne. Inhalace H₂ nevykazovala žádné pozorovatelné nepříznivé účinky a komplikace, zároveň zlepšila úroveň saturace kyslíkem. Tato zjištění naznačují potenciál H₂ pro jeho široké použití i u starších

pacientů. Lee a Choi (2021) provedli studii s laboratorními myšmi, u kterých zkoumali účinek H₂ na cerebrální ischemicko-reperfúzní poškození. Subjekty byly rozděleny na dvě skupiny (30 – simulovaná operace, 30 – chirurgický zákrok), kdy subjektům po chirurgickém zákroku byla po dobu 5 týdnů podávána HRW (1,2 až 2,0 ppm). Výsledky testování poukazují, že chirurgický zákrok vyvolal abnormální úzkost a deficit paměti. Autoři uvádí, že po užití HRW byly tyto kognitivní poruchy redukovány. Hong et al. (2021) uvádí, že druhým nejčastějším neurodegenerativním onemocněním je Parkinsonova nemoc. Ve své studii zahrnuli 18 pacientů s touto chorobou (50 až 78 let) ve stádiu II až III dle hodnocení Hoehna a Yahra. Probandům byla po dobu 2 týdnů podávána HRW (2,5 ppm) spolu s fotobiomodulací, během čehož byly sledovány nežádoucí účinky a skóre Unified Parkinson Disease Rating Scale (UPDRS). Skóre UPDRS (části I, II a III) se významně snížilo již po prvním týdnu užití H₂ a fotobiomodulace. Ke zlepšení skóre došlo také během druhého týdne terapie. Po ukončení terapie se v dalším týdnu celkové skóre zvýšilo, ale stále vykazovalo významné zlepšení ve srovnání s počátečním skóre. V průběhu studie nebyly hlášeny žádné nežádoucí účinky. Tato studie prokázala, že kombinovaný režim užití H₂ a fotobiomodulace je bezpečný a může zmírnit závažnost onemocnění především v oblasti nálady a kognitivních funkcí.

Sim et al. (2020) se ve své publikaci zaměřují na zkoumání účinků konzumace 1 500 ml HRW denně v porovnání s placebem na imunitní funkce u zdravých dospělých (19 mužů a 19 žen, 20 až 59 let) po dobu 4 týdnů. Změny od výchozí hodnoty do 4. týdne experimentu se významně mezi skupinami nelišily, avšak u osob ve věku ≥ 30 let se zvýšil biologický antioxidační potenciál více u uživatelů HRW v porovnání s uživateli placebo. U skupiny HRW došlo také k snížení apoptózy mononukleárních buněk periferní krve a regulaci transkripční sítě zánětlivých reakcí i signalizace NF- κ B. Tato zjištění naznačují, že HRW zvyšuje antioxidační kapacitu, a tím snižuje zánětlivé reakce u zdravých dospělých.

Asgharzadeh et al. (2022) zkoumali účinky HRW v kombinaci s chemoterapeutickou látkou 5-fluorouracil (5-FU) i s absencí této látky na kolorektální karcinom na zvířecím modelu. 24 laboratorních myší bylo rozděleno do čtyř skupin (kontrolní skupina, skupina užívající 1,5 mmol/l HRW, skupina užívající 5 mg/kg 5-FU, skupina s kombinací HRW a 5-FU) a testováno po dobu 2 týdnů. Autoři uvádí, že HRW podávaná samostatně vykazuje protirakovinné vlastnosti, snižuje oxidační stres a zesiluje antioxidační aktivitu ve srovnání s konvenční léčbou (5-FU). Kombinace HRW a 5-FU potlačovala progresi nádoru, nicméně přidání HRW k léčbě 5-FU zvýšilo hladiny oxidačního stresu a snížilo antioxidační aktivitu.

Důležitým milníkem pro využití H₂ ve sportovní sféře byla japonská studie z roku 2012, která se zaměřila na podávání vodíku jako intervenci zvyšující výkonnost lidského organismu

(Aoki et al., 2012). Tato studie jako první prokázala, že H₂ aplikovaný před sportovním výkonem po dobu týdne snižuje hladinu laktátu v krvi a zmírňuje pokles svalové funkce. Dle Kawamury et al. (2020) je vliv H₂ ve sportovní vědě v počáteční fázi a zaměřuje se především na jeho biochemické reakce ve vztahu k cvičením vyvolaný oxidační stres a zánětlivé procesy. Botek (2023) uvádí, že H₂ urychluje regeneraci po fyzické zátěži, snižuje vnímání svalové bolesti v důsledku redukce oxidačního stresu a zánětlivé reakce vzniklé poškozením tkáně po tréninku. Kawamura et al. (2020) doplňují, že nejvhodnější metodou aplikace molekulárního vodíku ve sportovní sféře je HRW.

Dong et al. (2022) zkoumali vliv 1 000 ml HRW (1,6 ppm) denně po dobu týdne na výkon a zotavení sportovců po tréninku (2 × 2 h denně) na dračích lodích. 18 sportovců bylo rozděleno do dvou skupin dle užití HRW či placebo. Konzumace HRW zvýšila maximální i průměrný výkon 30s testu veslování a po 2min zotavení snížila srdeční frekvenci, zatímco u placebo k poklesu nedošlo. Z výsledků vyplývá, že HRW může zlepšit výkon sportovců a přispívá k obnovení srdeční frekvence po cvičení, což naznačuje, že HRW může být pro sportovce vhodným prostředkem hydratace.

Botek et al. (2022) realizovali studii za účasti 16 profesionálních hráčů fotbalu průměrného věku 18,8 let. Sportovci absolvovali dva testy s rozestupem týdne (sprinty na 15 × 30 m proložené 20s regenerací) po užití 1 260 ml HRW (0,9 ppm) či placebo. Ve 14. a 15. sprintu byly výrazně rychlejší časy sprintu uživatelů HRW na 15 m, což představuje zlepšení v čase o 3,4 % a 2,7 %. Čas ve sprintu na 30 m se také výrazně zlepšil o 1,9 % ve skupině HRW v posledním sprintu. Koncentrace laktátu ani hodnocení vnímané námahy se však mezi HRW a placebem významně nelišily. Suplementace HRW před cvičením je dle autorů spojena se zvýšenou schopností snižovat únavu, zejména během pozdějších fází opakovaného sprintového cvičení.

Timón et al. (2021) ve své studii analyzovali účinek příjmu 1 920 až 2 240 ml HRW (1,9 ppm) denně po dobu týdne na aerobní a anaerobní výkonnost u 15 netrénovaných jedinců a 12 trénovaných cyklistů. Tato dvojitě zaslepená crossover studie trvala celkem 18 dní. Po každém týdnu byly následující 2 dny použity k posouzení výkonu dosaženého účastníky v testování VO₂ max a maximálním anaerobním testu. Výsledky ukazují, že příjem HRW měl pozitivní vliv na výkonnost (výkon a index únavy) u trénovaných cyklistů během anaerobního testu, avšak neměl žádný významný vliv na netrénované jedince.

Moradi et al. (2020) zkoumali účinek 2 000 ml HRW (0,55 až 0,65 mmol/l) v porovnání s placebem u 9 sportovců v silovém tréninku během 24 hodin. Pokles hodnot kyseliny mléčné a laktátdehydrogenázy ve skupině HRW ve srovnání s placebem byl významný. Změny kreatinkinázy nebyly významné ani u jedné skupiny. Výsledky ukazují, že užití HRW může zlepšit sportovní efektivitu u profesionálních sportovců.

Mikami et al. (2020) ve své publikaci popisují dva experimenty vlivu HRW ve vztahu k psychometrické únavě a vytrvalosti. V prvním experimentu se u 99 netrénovaných probandů (muži i ženy, 40 až 70 let) hodnotil vliv 500 ml HRW (0,8 ppm) podané 30 min před cvičením v porovnání s placebem testováním VO_2 max, hodnocením VAS a Borgovy škály. U skupiny HRW došlo k zlepšení výsledků VAS a Borgovy škály. Jelikož výsledky prvního experimentu vykazovaly zlepšení psychometrické únavy, byl proveden druhý experiment zkoumající účinek HRW u intenzivnějšího cvičení. V tomto experimentu byl zjišťován vliv 500 ml HRW (1,0 ppm) u 60 trénovaných účastníků (muži i ženy, 20 až 69 let) podané 10 minut před cvičením v porovnání s placebem za využití totožné metodiky. Skupina HRW vykazovala zlepšení výsledků VO_2 max a Borgovy škály. Z výsledků studie dle autorů vyplývá, že konzumace HRW těsně před cvičením může redukovat únavu a zlepšovat vytrvalost.

Ostojic (2015) uvádí, že molekulární vodík může být účinnou inovativní terapií sportovních zranění a oxidativního stresu vyvolaného cvičením s potenciálem pro zlepšení výkonu. Kawamura et al. (2020) upozorňují na možné výzkumné téma týkající se stanovení optimálního protokolu příjmu molekulárního vodíku vzhledem k tomu, že jeho účinky jsou ovlivněny různými faktory, jako je například způsob příjmu, načasování, koncentrace, dávka, frekvence a tělesná zdatnost probandů.

3 CÍLE

3.1 Hlavní cíl

Hlavním cílem této diplomové práce je posoudit vliv 1 500 ml hydrogenové vody (HRW) na vybrané charakteristiky moči během dvou hodin od konzumace v porovnání s placebem.

3.2 Dílčí cíle

- 1) Posoudit vliv HRW na frekvenci mikce v porovnání s placebem.
- 2) Posoudit vliv HRW na objem moči v porovnání s placebem.
- 3) Posoudit vliv HRW na barvu moči v porovnání s placebem.
- 4) Posoudit vliv HRW na specifickou hmotnost moči v porovnání s placebem.
- 5) Posoudit vliv HRW na pH moči v porovnání s placebem.
- 6) Posoudit vliv HRW na oxidačně redukční potenciál moči v porovnání s placebem.

3.3 Výzkumné hypotézy

- 1) Užití HRW zvyšuje frekvenci mikce v porovnání s placebem.
- 2) Užití HRW zvyšuje objem moči v porovnání s placebem.
- 3) Užití HRW snižuje odstín moči v porovnání s placebem.
- 4) Užití HRW snižuje specifickou hmotnost moči v porovnání s placebem.
- 5) Užití HRW zvyšuje pH moči v porovnání s placebem.
- 6) Užití HRW snižuje oxidačně redukční potenciál moči v porovnání s placebem.

4 METODIKA

4.1 Charakteristika výzkumného souboru

Výzkumný soubor tvořilo 12 probandů (6 žen a 6 mužů) vybraných z řad studentů Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Charakteristiku výzkumného souboru blíže specifikuje níže uvedená Tabulka 2. Všichni probandi byli subjektivně zdraví, pohybově aktivní, nekuřáci, bez zdravotních komplikací. Případným důvodem k vyloučení ze studie bylo především chronické onemocnění ledvin, akutní zánět močových cest a průběh deskvamační fáze menstruačního cyklu.

Probandi byli důkladně seznámeni s průběhem výzkumu s akcentem na jeho časový harmonogram. Dále byli požádáni, aby dodržovali režimová opatření 24 hodin před testováním zahrnující omezení nadměrné pohybové aktivity a absence jiných nápojů mimo vody v jejich hydratačním režimu. Všichni probandi podepsali informovaný souhlas s účastí na výzkumu a využitím získaných dat pro výzkumné účely (Příloha 2).

Výzkum byl schválen Etickou komisí Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci pod jednacím číslem 75/2017 dne 15. 12. 2017 (Příloha 1).

Tabulka 2

Charakteristika výzkumného souboru

Proměnná	Ženy		Muži	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
n				
Věk (roky)	23	0,6	23	0,8
Výška (cm)	170,2	4,9	179,7	6,2
Hmotnost (kg)	66,2	7,8	75,7	5,2
Tělesný tuk (%)	22,3	3,1	13,2	5,0

Poznámka. n = proměnná, M = aritmetický průměr, SD = směrodatná odchylka

Antropometrické údaje byly doloženy probandy. Údaje o tělesném složení výzkumného souboru byly získány v samostatném bloku mimo termíny experimentálních etap za pomoci přístroje Tanira MC-980MA (Tanita, Tokyo, Japonsko) využívající pro analýzu bioimpedanční sken.

4.2 Design studie

Tato studie má charakter randomizované dvojitě zaslepené placebo kontrolované crossover studie. Vliv HRW na vybrané charakteristiky moči byl posuzován na základě zpracování dat z dvou testování po užití placebo nebo HRW.

Testování probíhalo ve dvou experimentálních blocích v rozmezí dvou týdnů. Probandi byli náhodně rozděleni do dvou skupin. V prvním experimentálním bloku byla jedné skupině podána HRW a v druhém experimentálním bloku placebo ve formě kojenecké vody. Druhé skupině byly tekutiny podány v opačném pořadí. Láhve tekutin byly označeny identifikačním číslem, ale obsah láhví nebyl probandům ani experimentátorům znám. Odlišení HRW od kojenecké vody není percepčně možné.

Experimentální blok trval tři hodiny. V prvních hodině proběhla standardizovaná snídane, první odběry moči a jejich vyhodnocení. Následně bylo probandům podáno 1 500 ml tekutin (rozložených do tří dávek po 500 ml) ve formě HRW nebo placebo. Po konzumaci tekutin bylo zahájeno testování opakovaných odběrů moči během dvou hodin. V průběhu testování byla zkoumána frekvence mikce, objem, specifická hmotnost, hodnota pH, barva a oxidačně redukční potenciál moči.

4.3 Metodika sběru dat

V oba experimentální bloky se probandi dostavili v ranních hodinách do diagnostického sektoru Aplikačního centra Baluo v Olomouci, kde proběhla standardizovaná snídane skládající se z 50 g banánu, bílého jogurtu Albert (3,8 % tuku) v plastovém obalu a 500 ml kojenecké vody Aquila v PET láhvi. Probandi byli podrobně informováni o průběhu experimentálního bloku. Následně byly probandům přiděleny sterilní kelímky s identifikačním číslem pro odběry středního proudu moči. První odběr moči sloužil především pro případné vyloučení probandů se závažnou proteinurií či hematurií a pro posouzení shodnosti experimentálních skupin s ohledem na stav hydratace, přítomnost krve a bílkovin v moči. Testování vzorků moči proběhlo v laboratoři Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Při testování bylo dbáno na hygienická opatření. Časová etapa probíhala po dobu 45 minut. Na základě výsledků chemické analýzy moči z prvního odběru nebyl žádný proband vyřazen ze studie.

Pro hodnocení přítomnosti bílkovin a krve v moči byla provedena semikvantitativní analýza s využitím diagnostických proužků AlbuPhan a Hemophan (ERBA Mannheim, Mannheim, Německo). Po vytažení proužku z tuby bylo nutné její okamžité uzavření z důvodu prevence devalvace nepoužitých proužků. Reagenční zóny na diagnostickém proužku byly vloženy

do vyšetřované moči po dobu 1 až 2 sekund tak, aby reagenční zóny byly smočeny, ale aby nedošlo k jejich vymytí. Po vytažení proužku z moči došlo k jeho otření o okraj nádoby. Po 60 sekundách bylo vyhodnoceno zbarvení reagenčních zón srovnáním s barevnou stupnicí na tubě (Obrázek 5).

Obrázek 5

Diagnostické proužky AlbuPhan a Hemophan



Poznámka. vlastní fotografie

Z Tabulky 3 vyplývá, že rozdíly v množství bílkoviny v moči mezi skupinou HRW a skupinou placebo nebyly statisticky významné ($p = 0,16$, chí-kvadrát test).

Tabulka 3

Bílkoviny v moči

Placebo	HRW		
	negativní	0,3 g/l	1 g/l
negativní	4	1	1
0,3 g/l	4	0	0
1 g/l	1	1	0

Rozdíly v přítomnosti krve v moči mezi skupinou HRW a skupinou placebo nebyly dle Tabulky 4 statisticky významné ($p = 0,32$, chí-kvadrát test).

Tabulka 4

Krev v moči

Placebo	HRW	
	< 5 ery/ μ l	5–10 ery/ μ l
< 5 ery/ μ l	11	0
5–10 ery/ μ l	1	0

Poznámka. ery = erytrocyty

Pro stanovení stavu hydratace probandů byl použit refraktometr ATAGO SUR-NA (ATAGO, Tokio, Japonsko), kterým byly získány data o specifické hmotnosti moči probandů v průběhu celého testování. Po každém měření byl refraktometr kalibrován destilovanou vodou.

Stav hydratace byl určen na základě porovnání specifické hmotnosti moči s destilovanou vodou (USG). Jednotlivé hodnoty stavů hydratace můžeme rozdělit na (Gunawan et al., 2018):

- euhydratace: USG 1,000–1,020,
- dehydratace: USG 1,021–1,030,
- závažná dehydratace: USG > 1,031.

Rozdíly ve stavech hydratace mezi skupinou HRW a skupinou placebo nebyly dle Tabulky 5 statisticky významné ($p = > 0,99$, chí-kvadrát test).

Tabulka 5

Stav hydratace před experimentem

Placebo	HRW		
	euhydratace	dehydratace	závažná dehydratace
euhydratace	2	1	0
dehydratace	2	5	1
závažná dehydratace	0	0	1

Pro přípravu HRW byla použita kojenecká voda Aquila v PET lahvích o objemu 500 ml. Do skleněné karafy bylo nalito 1 500 ml kojenecké vody a po dobu 5 minut byla tato voda sycena vodíkem (Tirtan). Poté byla HRW probandům podávána v původních PET lahvích 500 ml tak, aby nedošlo k percepčnímu rozlišení HRW a placebo (Tabulka 6).

Tabulka 6

Parametry připravené HRW a placebo

	teplota [°C]	pH [-]	ORP [mV]	H ₂ [ppm]
HRW	22,1	7,89	- 576	1,18
Placebo	22,1	7,85	+ 229	0,00

Po prvním odběru moči byly probandům přiděleny tři láhve se stejným identifikačním číslem o objemu 500 ml HRW nebo placebo. Časová dotace pro jejich konzumaci byla 15 minut. Poté bylo zahájeno dvouhodinové testování opakovaných odběrů moči, během kterých byla zjišťována frekvence mikce, objem, specifická hmotnost, hodnota pH, barva a oxidačně redukční potenciál moči. Singhal et al. (2014) uvádí, že je vhodné použít dvouhodinové testování moči místo na 24hodinového sběru moči pro včasnou diagnostiku a lepší compliance probanda.

U odběrů byl nejprve zjišťován objem moči váhou KERN EMB 2200-0 (KERN & SOHN, Balingen, Německo), po odečtu hmotnosti sterilního kelímku. Poté bylo množství moči redukováno na menší vzorek. V průběhu testování byly zaznamenány časové údaje jednotlivých odběrů moči pomocí hodinek Amazfit GTS 3 (Xiaomi, Peking, Čína) pro následné vyhodnocení frekvence mikce. Specifická hmotnost moči byla určena analogovým refraktometrem ATAGO SUR-NA (ATAGO, Tokio, Japonsko). Na sešikmenou plochu refraktometru bylo aplikováno malé množství moči, které bylo rovnoměrně rozprostřeno překrytím průhledného sklíčka a poté vyhodnoceno na základě promítnutí indexu lomu v moči na stupnici okuláru refraktometru. Pro zjištění teploty, pH a oxidačně redukčního potenciálu byl využit přístroj Greisinger GMH 3511 (Messtechnik, Regenstauf, Německo) se sondami GE 114 a GR 105. Sondy byly ponořeny do vzorku moči a zprostředkovávaly informace o teplotě, měrné vodivosti, měrném odporu, salinitě a množství látek rozpuštěných ve vzorku. Koncentrace H₂ byla měřena sondou H2-500LR (Unisense, Aarhus, Dánsko). Pro hodnocení odstínu moči byla využita barevná škála moči dle Armstronga et al. (1994), která se také může použít k určení stavu hydratace (Obrázek 6).

Obrázek 6

Barevná škála moči dle Armstronga et al. (1994)



Poznámka. odstíny 1 až 3 indikují euhydrataci, 4 až 6 mírnou až střední dehydrataci, 7 a 8 dehydrataci dle National Collegiate Athletic Association

4.4 Statistické zpracování dat

V průběhu experimentálních bloků byla zjištěná data importována do Microsoft Excel 2016 a následně zpracována. Pro statistickou analýzu byla použita aplikace MATLAB R2020a (MathWorks, Natick, USA).

Pro zhodnocení rozdílu frekvence mikce mezi HRW a placebem byl použit Chí-kvadrát test vycházející z kontingenční tabulky (Tabulky 7). Pro kontrolu normality dat ve vztahu k objemu moči byl využit Shapiro-Wilk test. Dvouvýběrovým t-testem bylo zjištěno, že rozdíly mezi muži a ženami nebyly staticky významně odlišné, proto byly vyhodnoceny obě skupiny jako jeden soubor. Pro zhodnocení efektu HRW na objem moči v porovnání s placebem byl použit párový t-test. Vzhledem k tomu, že barva moči má ordinální škálu s celočíselnými hodnotami bylo pro statistické vyhodnocení využito neparametrických testů. Rozdíly mezi pohlavími nebyly dle Mann-Whitney U testu statisticky významně odlišné, proto byly vyhodnoceny jako jeden soubor. Rozdíly mezi barvami moči u HRW a placebo skupiny nebyly využitím Wilcoxonova testu vyhodnoceny jako statisticky významné. I v případě specifické hmotnosti, pH a oxidačně redukčního potenciálu moči nebyla využitím Shapiro-Wilkova testu normalita dat zamítnuta, proto mohly být použity opět parametrické testy – dvouvýběrový t-test a párový t-test.

5 VÝSLEDKY

Z kontingenční tabulky (Tabulka 7) plyne, že u 6 probandů byla frekvence mikce 3× s placebem i s HRW, u 1 probanda byla frekvence 4× s placebem i s HRW. U 3 probandů došlo ke zvýšení frekvence mikce o jednotku (placebo: 3×, HRW: 4×). U 2 probandů došlo ke snížení frekvence mikce o jednotku (placebo: 5×, HRW: 4×). Rozdíly ve frekvencích mezi HRW a placebem nebyly statisticky významné. Z výsledků vyplývá, že HRW nezvyšuje frekvenci mikce v porovnání s placebem

Tabulka 7

Frekvence mikce

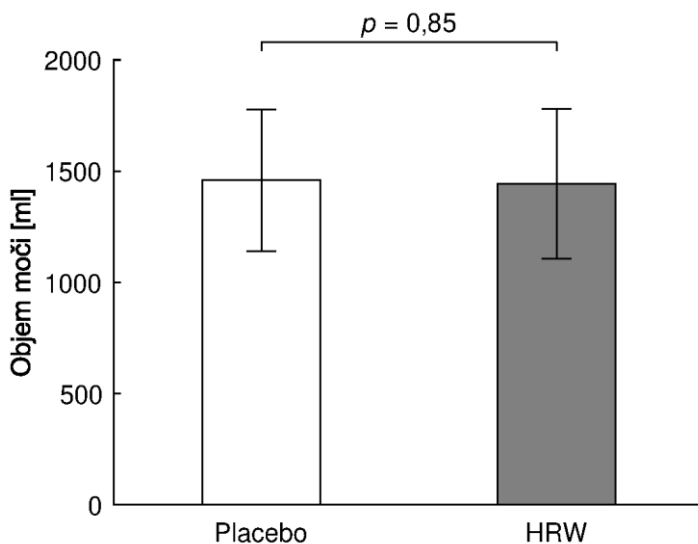
PLACEBO	HRW		
	3×	4×	5×
3×	6	3	0
4×	0	1	0
5×	0	2	0

Poznámka. $p = 0,65$, statistická významnost chí-kvadrát testu

Objem moči byl u skupiny placebo ($1\,459 \pm 319$) ml a u skupiny HRW ($1\,443 \pm 336$) ml. Na Obrázku 7 lze pozorovat, že rozdíly mezi skupinami nebyly statisticky významné. Výsledky nepotvrzují, že HRW zvyšuje objem moči v porovnání s placebem.

Obrázek 7

Objem moči

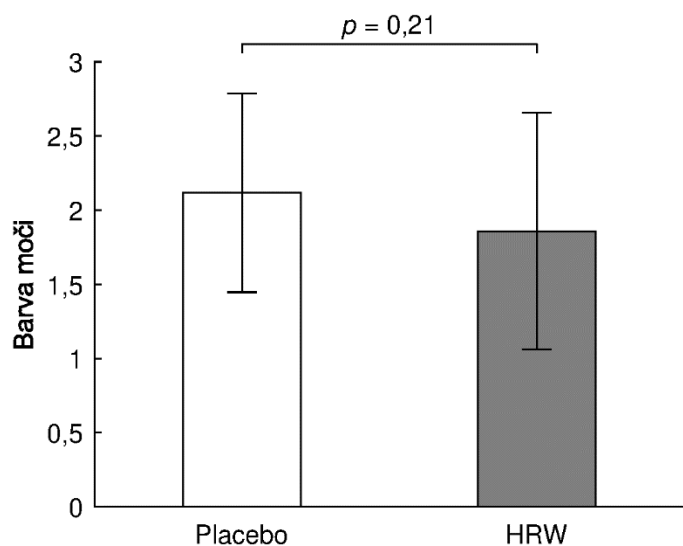


Poznámka. $p = 0,85$, statistická významnost párového t-testu

Barva moči u skupiny placebo byla $2,1 \pm 0,7$, u skupiny HRW byla $1,9 \pm 0,8$, rozdíly mezi skupinami nebyly statisticky významné, jak lze pozorovat na Obrázku 8. Na základě výsledků měření lze konstatovat, že HRW nesnižuje odstín moči v porovnání s placebem.

Obrázek 8

Barva moči

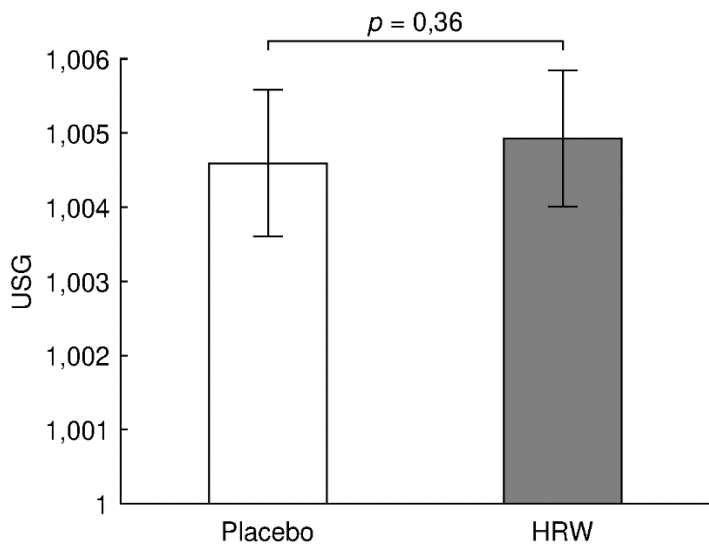


Poznámka. $p = 0,21$, statistická významnost Wilcoxonova testu

Specifická hmotnost moči u skupiny placebo byla $1,0046 \pm 0,0010$, u skupiny HRW byla $1,0049 \pm 0,0009$, rozdíly mezi skupinami nebyly statisticky významné (Obrázek 9). Z výsledků vyplývá, že HRW ve srovnání s placebem nesnižuje specifickou hmotnost moči.

Obrázek 9

Specifická hmotnost moči

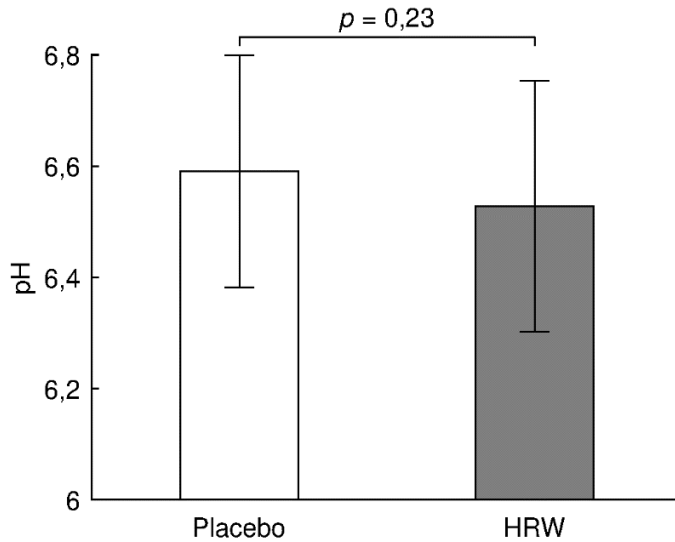


Poznámka. $p = 0,36$, statistická významnost párového t-testu

pH moči u skupiny placebo byl $6,59 \pm 0,21$, u skupiny HRW byl $6,53 \pm 0,23$, rozdíly mezi skupinami nebyly statisticky významné, což je patrné z Obrázku 10. HRW nezvyšuje pH v porovnání s placebem.

Obrázek 10

pH moči

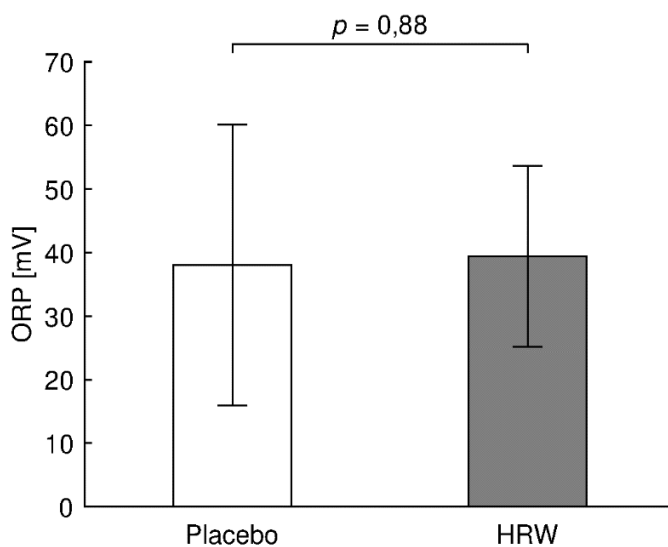


Poznámka. $p = 0,23$, statistická významnost párového t-testu

Oxidačně redukční potenciál moči u skupiny placebo byl (38 ± 22) mV, u skupiny HRW byl (39 ± 14) mV, rozdíly mezi skupinami nebyly statisticky významné (Obrázek 11). Výsledky nepotvrdily, že HRW snižuje oxidačně redukční potenciál moči v porovnání s placebem.

Obrázek 11

Oxidačně redukční potenciál moči



Poznámka. $p = 0,88$, statistická významnost párového t-testu

6 DISKUSE

Díky rozmanitým vlastnostem a terapeutickému potenciálu je molekulární vodík zkoumán nejen v oblasti klinických studiích systémových onemocnění, ale také ve sportovní sféře (Johnsen et al., 2023). Mechanismus účinků H₂ je ve sportovně-vědeckých studiích popsán především ve vztahu k metabolismu svalové tkáně. Nuccio et al. (2017) uvádí, že svalová práce je spjatá se ztrátami tepla, a tím i tekutin. Z toho důvodu je pro sportovce zásadní identifikace a dodržování vhodné hydratační strategie (McDermott et al., 2017). Nejsou známy studie HRW, které by se věnovaly bilanci tekutin, především možnosti vlivu hydrogenu na zvýšený výdej tekutin. Zvýšený výdej tekutin představuje dle Shaheen et al. (2018) riziko dehydratace, která má již při ztrátě tekutin o 1 až 2 % z celkové tělesné hmotnosti vliv na psychomotorické a kognitivní funkce. Problematika bilance tekutin vyvstala již u jiných suplementů jako je například široce využívaný kofein, u kterého řada studií upozorňuje na diuretické účinky (Marx et al., 2016; Fenton et al., 2015; Rodak et al., 2021; Lohsiriwat et al., 2011). Arya et al. (2000) ve své studii zjišťovali souvislost mezi příjmem kofeinu a rizikem nestability detruzoru u 259 žen (131 s nestabilitou detruzoru, 128 bez nestability detruzoru) rozdělených do 3 skupin dle množství kofeinu (< 100 mg/den, 100–400 mg/den, > 400 mg/den). Z výsledků vyplývá významná souvislost mezi vysokým příjmem kofeinu a nestabilitou detruzoru.

Tato diplomová práce se zabývala doposud nestudovanou problematikou vlivu hydrogenové vody na vybrané charakteristiky moči. Hlavním cílem této diplomové práce bylo posoudit vliv 1 500 ml hydrogenové vody (HRW) na vybrané charakteristiky moči během dvou hodin od konzumace v porovnání s placebem. V průběhu testování byla zkoumána frekvence mikce, objem, specifická hmotnost, hodnota pH, barva a oxidačně redukční potenciál moči u probandů po užití HRW ve srovnání s placebem. Analogické spektrum parametrů bylo použito ve studii Pera et al. (2020) pro hodnocení močových biomarkerů jako diagnostických nástrojů pro sledování zdravotního stavu sportovců. Montull et al. (2022) uvádí, že analýza specifických látek v moči poskytuje cenné poznatky o fyziologickém stavu sportovce a pomáhá trenérům, sportovním vědcům a lékařům optimalizovat trénink, monitorovat regeneraci a předcházet zdravotním problémům jedince.

Frekvence mikce u 6 probandů byla 3× s placebem i s HRW, u 1 probanda byla frekvence 4× s placebem i s HRW. U 3 probandů došlo ke zvýšení frekvence mikce o jednotku (placebo: 3×, HRW: 4×). U 2 probandů došlo ke snížení frekvence mikce o jednotku (placebo: 5×, HRW: 4×). Za fyziologických podmínek je průměrná frekvence mikce u dospělého jedince dle Walker et al. (1990) zhruba 6× denně, což se ovšem může měnit v závislosti na mnoha faktorech. Zřejmým faktorem v tomto experimentu je zvýšený příjem tekutin (1 500 ml HRW či placeba) za krátký

časový úsek (15 minut), který se projevil zvýšenou frekvencí mikce během dvouhodinového intervalu. Z výsledku experimentu vyplynulo, že HRW signifikantně nezvyšuje frekvenci mikce v porovnání s placebem. Toto zjištění je významné především pro využití HRW jako suplementu ve sportu, jelikož neohroží hydratační strategii pro euhydratovaný stav sportovce zvýšením frekvence mikce (McDermott et al., 2017).

Z celkového denního výdeje tekutin tvoří zhruba 1 500 ml definitivní moč (Rokyta et al., 2015). Objem moči u skupiny placebo byl $(1\,459 \pm 319)$ ml a u skupiny HRW $(1\,443 \pm 336)$ ml. Experimentální výsledky nepotvrdily, že HRW zvyšuje objem moči v porovnání s placebem. Při zvýšeném příjmu tekutin (1 500 ml HWR či placebo) za krátký časový úsek (15 minut) došlo pro udržení vodní bilance k regulaci především zvýšeným výdejem objemu moči.

Liu et al. (2021) uvádí, že makroskopické změny odstínu moči jsou jednoznačně výsledkem mikroskopických změn. Barva moči závisí na koncentraci barviva v moči produkovaného katabolismem hemoglobinu. Odstín barvy moči byl u HRW skupiny $1,9 \pm 0,8$ a u placebo $2,1 \pm 0,7$. Wardenaar et al. (2021) uvádí, že barva moči souvisí se stavem hydratace u zdravých dospělých a významně souvisí se dvěma definovanými fyziologickými parametry hydratace, konkrétně s osmolalitou moči a specifickou hmotností moči (USG). Zhodnocením odstínů barev moči dle Armstronga et al. (1994) bylo zjištěno, že užitím HRW došlo k snížení odstínu moči stejně jako u placebo. Z výsledků experimentu můžeme konstatovat, že se jednalo o zředovací proces, vlivem kterého došlo k snížení odstínů moči množstvím konzumovaných tekutin a hydratací probandů.

Specifická hmotnost moči dosahovala u HRW hodnot $1,0049 \pm 0,0009$ a u placebo $1,0046 \pm 0,0010$. V případě specifické hmotnosti se nepotvrdilo, že HRW signifikantně snižuje specifickou hmotnost moči v porovnání s placebem. Dle Gunawana et al. (2018) jsou tyto hodnoty ukazatelem vhodného a žádoucího stavu hydratace zdravých dospělých. Naproti tomu z hodnot měření stavu hydratace před zahájením experimentu vyplývá, že se většina probandů účastnila testování v dehydratovaném stavu a někteří ve stavu závažné dehydratace. Během experimentu došlo k pozitivnímu ovlivnění stavu hydratace probandů zvýšeným příjmem tekutin.

Jak již bylo v přehledu poznatků uvedeno, hodnota pH moči se fyziologicky pohybuje v rozmezí 4,5 až 7,0 (Kawaciuk, 2009). Po užití HRW byla naměřena hodnota $6,53 \pm 0,23$ a u placebo $6,59 \pm 0,21$. Z výsledku experimentu vyplývá, že HRW signifikantně nezvyšuje pH moči v porovnání s placebem. Hodnoty pH moči po užití obou suplementů se však pohybují při horní hranici uvedeného rozpětí pH dle Kawaciuka (2009). Parametrickým měřením užití HRW a placebo bylo zjištěno, že oba tyto suplementy mají zásadité pH, což může evokovat úvahu, jaký vliv má pH konzumované tekutiny na pH moči. Ve studii Yildirima a Koçana (2023)

byl zkoumán vliv pitné vody o různém pH na změnu pH moči na zvířecím modelu. Autoři ve studii použili balené vody s nejnižší a nejvyšší hodnotou pH dostupnou v jejich regionu. Pro první skupinu bylo pH pitné vody 5,5, pro druhou skupinu pH 7 a pro třetí skupinu pH 8,2. Testování probíhalo ve stejném prostředí a podmínkách po dobu 13 dnů. Autoři zjistili, že pH pitné vody nezpůsobuje pravidelnou změnu pH moči, avšak způsobuje změny pH moči v různé dny. Naproti tomu Zhang et al. (2022) uvádí, že suplementace alkalické vody může být užitečná pro alkalizaci moči, zejména u jedinců s nižším pH moči. Z rešerše literatury lze konstatovat, že je zapotřebí potvrzení těchto zjištění v dalších vědeckých studiích.

Měření parametrů připravené HRW bylo zjištěno, že ORP dosahoval záporné hodnoty narozdíl od placebo. Díky záporným hodnotám ORP je molekulární vodík považován za redukční činidlo, čímž funguje jako silný antioxidant (LeBaron et al., 2022). Po užití 1 500 ml HRW či placebo dosahoval ORP moči v obou případech kladných hodnot. Oxidačně redukční potenciál moči dosahoval u skupiny HRW hodnot (39 ± 14) mV a u placebo (38 ± 22) mV. Ohsawa et al. (2007) uvádí, že HRW jako silný antioxidant reaguje s volnými radikály, které jsou následně vyloučeny z těla jako neutrální nebo slabě oxidační produkty. Rahman et al. (2023) uvádí, že ORP moči může být ovlivněn nejen přítomností molekulárního vodíku, ale i dalšími látkami, které se v moči nacházejí. Tyto látky mohou zahrnovat elektrolyty, metabolity, a jiné chemické sloučeniny s kladným ORP (Pruteanu et al., 2023). Kladné ORP moči mohla u HRW skupiny ovlivnit změna oxidačně redukčních vlastností H_2 (Ohsawa et al., 2007) a rychlost vyloučení H_2 močí (Ohta, 2012), a u obou skupin metabolické procesy (Ohta, 2014), přítomnost elektrolytů a metabolitů (Granger & Ward, 2003) a stav hydratace (Armstrong, 2007).

Účinky molekulárního vodíku mohou být dle Kawamury et al. (2020) ovlivněny různými faktory, mezi které patří například způsob příjmu, načasování, koncentrace, dávka, frekvence a tělesná zdatnost probandů.

6.1 Limity práce

Limitem práce byl nízký počet probandů ve výzkumném souboru, což má vliv na zobecnění výsledků a jejich interpretaci. Většina probandů byla před zahájením experimentu v dehydratovaném stavu a nebylo možno ověřit dodržení stanovených režimových opatření 24 hodin před testováním (omezení nadměrné pohybové aktivity a absence jiných nápojů mimo vody v hydratačním režimu). Z hlediska dalšího výzkumu bych doporučovala rozšíření výzkumného souboru, zvážení optimálního množství HRW, testování dlouhodobějšího užívání HRW (např. 14 dní) a následný 24hodinový sběr moči pro porovnání rozdílů u HRW a placebo skupiny v rámci hodnocení vlivu hydrogenové vody na diurézu. Výzkumná linie molekulárního vodíku a přehled odborných zdrojů k této problematice jsou omezené.

7 ZÁVĚRY

Tato diplomová práce si kladla za hlavní cíl posoudit vliv 1 500 ml hydrogenové vody (HRW) na vybrané charakteristiky moči během dvou hodin od konzumace v porovnání s placebem. Dílčími cíli bylo posoudit vliv HRW na frekvenci mikce, objem, barvu, specifickou hmotnost, pH a oxidačně redukční potenciál moči v porovnání s placebem.

Na základě výsledků práce můžeme konstatovat, že nebyl zjištěn žádný statisticky významný rozdíl vlivu 1 500 ml HWR na vybrané charakteristiky moči během dvou hodin od konzumace v porovnání s placebem. Vliv HRW na frekvenci mikce, objem, barvu, specifickou hmotnost, pH a oxidačně redukční potenciál moči v porovnání s placebem nebyl statisticky významný.

8 SOUHRN

Molekulární vodík je předmětem mnoha vědeckých studií především proto, že působí jako selektivní antioxidant, antifibrotický činitel a antiapoptický prvek (Ge et al., 2017). Ve formě HRW může být účinnou hydratační strategií sportovců s potenciálem pro zlepšení výkonu a regenerace (Kawamura et al., 2020). V rámci své diplomové práce jsem se zaměřila na vliv hydrogenové vody na vybrané charakteristiky moči během dvouhodinového časového úseku. Hlavním cílem této diplomové práce bylo posoudit vliv 1 500 ml HRW na vybrané charakteristiky moči během dvou hodin od konzumace v porovnání s placebem.

Kapitola vymežující hospodaření s tekutinami v lidském organismu byla zaměřena především na základní mechanismy podílející se na regulaci tělesných kompartmentů, jejich cirkulaci a bilanci tekutin. Dále popisovala specifika hospodaření s tekutinami u sportovců a vybrané nápoje. Následující kapitola se věnovala charakteristice močového systému se zaměřením na jeho funkční anatomii, základní vlastnosti a vyšetření moči. Závěrečná část přehledu poznatků popisovala účinky, využití a možnosti aplikace molekulárního vodíku a možnou podobnost s kofeinem.

Tato studie byla provedena jako randomizovaná dvojitě zaslepená plácem kontrolovaná crossover studie, které se zúčastnilo 12 probandů (6 žen a 6 mužů) vybraných z řad studentů Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci. Probandi byli náhodně rozděleni do dvou skupin, kdy jedné skupině byla podána HRW a v druhém experimentálním bloku placebo ve formě kojenecké vody značky Aquila. Druhé skupině byly tekutiny podány v opačném pořadí. Testování probíhalo ve dvou tříhodinových experimentálních blocích v rozmezí dvou týdnů. Blok byl vždy zahájen podáním standardizované snídaně (50 g banánu, bílý jogurt Albert 3,8 % a 500 ml kojenecké vody Aquila), prvním odběrem moči a jeho vyhodnocením. Poté bylo probandům podáno 1 500 ml tekutin (rozložených do tří dávek po 500 ml) ve formě HRW (1,18 ppm) nebo placebo. Po konzumaci tekutin bylo zahájeno dvouhodinové testování opakovaných odběrů moči. Testování bylo zaměřeno na frekvenci mikce, objem, specifickou hmotnost, hodnotu pH, barvu a oxidačně redukční potenciál moči.

Rozdíly mezi užitím HRW a placebo nebyly u vybraných ukazatelů signifikantní. Frekvence mikce měla u 7 probandů užívajících HRW i placebo stejnou četnost, 3 probandi u HRW měli zvýšenou frekvenci o jednotku v porovnání s placebem, 2 probandi měli u HRW sníženou frekvenci o jednotku v porovnání s placebem. Objem moči činil u uživatelů HRW ($1\,443 \pm 336$) ml a u placebo ($1\,459 \pm 319$) ml. Odstín barvy moči byl u HRW $1,9 \pm 0,8$ a u placebo $2,1 \pm 0,7$. Specifická hmotnost moči dosahovala u HRW hodnot $1,0049 \pm 0,0009$ a u placebo $1,0046 \pm 0,0010$. pH moči bylo u HRW $6,53 \pm 0,23$ a u placebo $6,59 \pm 0,21$. Oxidačně redukční potenciál

moči dosahoval u HRW hodnot (39 ± 14) mV a u placebo (38 ± 22) mV. Výsledky studie neprokázaly žádný statisticky významný rozdíl vlivu 1 500 ml HRW na vybrané charakteristiky moči během dvou hodin od konzumace v porovnání s placebem. Vliv HRW na frekvenci mikce, objem, barvu, specifickou hmotnost, pH a oxidačně redukční potenciál moči v porovnání s placebem nebyl statisticky významný.

Další zkoumání problematiky vlivu hydrogenové vody na vybrané charakteristiky moči je vhodnou příležitostí pro zjištění mechanismů účinku H_2 ve vztahu k bilanci tekutin a močovému systému.

9 SUMMARY

Molecular hydrogen has been the subject of many scientific studies mainly because it acts as a selective antioxidant, antifibrotic agent and antiapoptotic element (Ge et al., 2017). In the form of HRW, it can be an effective hydration strategy for athletes with the potential to improve performance and recovery (Kawamura et al., 2020). For my thesis, I focused on the effect of HRW on selected urinary characteristics over a two-hour time period. The main aim of this thesis was to assess the effect of 1 500 ml HRW on selected urinary characteristics within two hours of consumption compared to placebo.

The chapter defining fluid management in the human body focused mainly on the basic mechanisms involved in the regulation of body compartments, their circulation and fluid balance. It also described the specifics of fluid management in athletes and selected beverages. The following chapter dealt with the characteristics of the urinary system, focusing on its functional anatomy, basic properties and urinalysis. The final part of the review of knowledge described the effects, uses and possible applications of molecular hydrogen and its possible similarity to caffeine.

This study was conducted as a randomized double-blind placebo-controlled crossover study involving 12 probands (6 females and 6 males) recruited from the students of the Faculty of Physical Culture of Palacky University in Olomouc. The probands were randomly divided into two groups, with one group receiving HRW and the other experimental block receiving placebo in the form of Aquila brand baby water. The other group was given the fluids in the reverse order. Testing was conducted in two three-hour experimental blocks two weeks apart. Each block started with a standardised breakfast (50 g of banana, Albert 3.8% white yoghurt and 500 ml of Aquila baby water), a first urine collection and its evaluation. Thereafter, probands were given 1 500 ml of fluid (divided into three doses of 500 ml each) in the form of HRW (1.18 ppm) or placebo. After fluid consumption, two-hour repeat urine collection testing was initiated. Testing focused on micturition frequency, volume, specific gravity, pH, color and oxidation-reduction potential of urine.

Differences between HRW and placebo use were not significant for selected parameters. Micturition frequency was equal in 7 probands taking HRW and placebo, 3 probands had increased frequency by one unit with HRW compared to placebo, and 2 probands had decreased frequency by one unit with HRW compared to placebo. Urine volume was (1 443 ± 336) ml for HRW users and (1 459 ± 319) ml for placebo users. Urine colour shade was 1.9 ± 0.8 for HRW and 2.1 ± 0.7 for placebo. Urine specific gravity was 1.0049 ± 0.0009 for HRW and 1.0046 ± 0.0010 for placebo. Urine pH was 6.53 ± 0.23 for HRW and 6.59 ± 0.21 for placebo.

The oxidation-reduction potential of urine was (39 ± 14) mV for HRW and (38 ± 22) mV for placebo. The results of the study didn't show statistically significant difference in the effect of 1 500 ml HRW on selected urinary characteristics during two hours of consumption compared to placebo. The effect of HRW on micturition frequency, volume, colour, specific gravity, pH and oxidation-reduction potential of urine compared to placebo wasn't statistically significant.

Further investigation of the issue of the effect of HRW on selected urinary characteristics is an appropriate opportunity to investigate the mechanisms of action of H₂ in relation to fluid balance and urinary system function.

10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Adzavon, Y. M., Xie, F., Yi, Y., Jiang, X., Zhang, X., He, J., Zhao, P., Liu, M., Ma, S., & Ma, X. (2022). Long-term and daily use of molecular hydrogen induces reprogramming of liver metabolism in rats by modulating NADP/NADPH redox pathways. *Scientific Reports*, *12*(1), 3904. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07710-6>
- Ambler, Z. (2011). *Základy neurologie: Učebnice pro lékařské fakulty* (7. vyd.). Galén.
- Aoki, K., Nakao, A., Adachi, T., Matsui, Y., & Miyakawa, S. (2012). Pilot study: Effects of drinking hydrogen-rich water on muscle fatigue caused by acute exercise in elite athletes. *Medical Gas Research*, *2*(1), 12. <https://doi.org/10.1186/2045-9912-2-12>
- Armstrong, L. E. (2007). Assessing Hydration Status: The Elusive Gold Standard. *Journal of the American College of Nutrition*, *26*(sup5), 575S-584S. <https://doi.org/10.1080/07315724.2007.10719661>
- Armstrong, L. E., Maresh, C. M., Castellani, J. W., Bergeron, M. F., Kenefick, R. W., LaGasse, K. E., & Riebe, D. (1994). Urinary Indices of Hydration Status. *International Journal of Sport Nutrition*, *4*(3), 265–279. <https://doi.org/10.1123/ijsn.4.3.265>
- Armstrong, L., & Johnson, E. (2018). Water Intake, Water Balance, and the Elusive Daily Water Requirement. *Nutrients*, *10*(12), 1928. <https://doi.org/10.3390/nu10121928>
- Arya, L., Myers, D., & Jackson, N. (2000). Dietary caffeine intake and the risk for detrusor instability: A case-control study. *Obstetrics & Gynecology*, *96*(1), 85–89. [https://doi.org/10.1016/S0029-7844\(00\)00808-5](https://doi.org/10.1016/S0029-7844(00)00808-5)
- Asada, R., Tazawa, K., Sato, S., & Miwa, N. (2020). Effects of hydrogen-rich water prepared by alternating-current-electrolysis on antioxidant activity, DNA oxidative injuries, and diabetes-related markers. *Medical Gas Research*, *10*(3), 114. <https://doi.org/10.4103/2045-9912.296041>
- Asgharzadeh, F., Tarnava, A., Mostafapour, A., Khazaei, M., & LeBaron, T. W. (2022). Hydrogen-rich water exerts anti-tumor effects comparable to 5-fluorouracil in a colorectal cancer xenograft model. *World Journal of Gastrointestinal Oncology*, *14*(1), 242–252. <https://doi.org/10.4251/wjgo.v14.i1.242>
- Balík, M., Černý, V., Matějovič, M., & Kunstýř, J. (2015). Vazopresin a jeho role v anesteziologii a intenzivní medicíně. *Anesteziologie a intenzivní medicína*, *26*(4), 223-227.
- Basrai, M., Schweinlin, A., Menzel, J., Mielke, H., Weikert, C., Dusemund, B., Putze, K., Watzl, B., Lampen, A., & Bischoff, S. C. (2019). Energy Drinks Induce Acute Cardiovascular and Metabolic Changes Pointing to Potential Risks for Young Adults: A Randomized Controlled Trial. *The Journal of Nutrition*, *149*(3), 441–450. <https://doi.org/10.1093/jn/nxy303>

- Bláhová, K., & Fencl, F. (2011). Vnitřní prostředí a patofyziologie tělesných tekutin. *Československá pediatrie*, 66(5), 308-318.
- Blow, A. (2019). Different types of sports drink and when to use them. *Precision fuel & hydration*. <https://www.precisionhydration.com/performance-advice/hydration/different-types-of-sports-drink-and-when-to-use-them/>
- Botek, M. (2023, August 14). *Vodík urychluje zotavení a snižuje pozátěžovou svalovou bolest*. H2 Times. Retrieved April 26, 2024, from <https://www.h2times.news/index.php/cs/rozhovory/277-vodik-urychluje-zotaveni-a-snizuje-pozatezovou-svalovou-bolest>
- Botek, M., Khanna, D., Krejčí, J., Valenta, M., McKune, A., Sládečková, B., & Klimešová, I. (2022). Molecular Hydrogen Mitigates Performance Decrement during Repeated Sprints in Professional Soccer Players. *Nutrients*, 14(3), 508. <https://doi.org/10.3390/nu14030508>
- Colakoglu, F. F., Cayci, B., Yaman, M., Karacan, S., Gonulateş, S., Ipekoglu, G., & Er, F. (2016). The effects of the intake of an isotonic sports drink before orienteering competitions on skeletal muscle damage. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(11), 3200–3204. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.3200>
- Čechová, M., & Matoušková, M. (2023). Hematurie. *Urologie pro praxi*, 24(1), 42-44. <https://doi.org/10.36290/uro.2023.018>
- Čihák, R. (2013). *Anatomie 2 Třetí, upravené a doplněné vydání* (3. vyd.). Grada.
- Dastyh, M., & Breinek, P. (2015). *Klinická biochemie: Bakalářský obor Zdravotní laborant* (3. vyd.). Masarykova univerzita.
- Dong, G., Fu, J., Bao, D., & Zhou, J. (2022). Short-Term Consumption of Hydrogen-Rich Water Enhances Power Performance and Heart Rate Recovery in Dragon Boat Athletes: Evidence from a Pilot Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(9), 5413. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095413>
- Dylevský, I. (2009). *Funkční anatomie* (1. vyd.). Grada.
- Dylevský, I. (2019). *Somatologie: Pro předmět Základy anatomie a fyziologie člověka* (3. přepracované a dop. vyd.). Grada.
- Eming, S. A., Wynn, T. A., & Martin, P. (2017). Inflammation and metabolism in tissue repair and regeneration. *Science*, 356(6342), 1026–1030. <https://doi.org/10.1126/science.aam7928>
- Fenton, R. A., Poulsen, S. B., De La Mora Chavez, S., Soleimani, M., Busslinger, M., Dominguez Rieg, J. A., & Rieg, T. (2015). Caffeine-induced diuresis and natriuresis is independent of renal tubular NHE3. *American Journal of Physiology-Renal Physiology*, 308(12), 1409-1420. <https://doi.org/10.1152/ajprenal.00129.2015>
- Fiala, P., Valenta, J., & Everlová, L. (2015). *Stručná anatomie člověka*. Karolinum.

- Fiani, B., Zhu, L., Musch, B. L., Briceno, S., Andel, R., Sadeq, N., & Ansari, A. Z. (2021). The Neurophysiology of Caffeine as a Central Nervous System Stimulant and the Resultant Effects on Cognitive Function. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.15032>
- Fu, Z., & Zhang, J. (2022). Molecular hydrogen is a promising therapeutic agent for pulmonary disease. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*, 23(2), 102–122. <https://doi.org/10.1631/jzus.B2100420>
- Ganong W. F., Barman S. M., Barrett, K. E., Boitano S., & Brooks H. L. (2010). *Ganong's review of medical physiology* (23rd ed.). McGraw-Hill Medical.
- Ge, L., Yang, M., Yang, N.-N., Yin, X.-X., & Song, W.-G. (2017). Molecular hydrogen: A preventive and therapeutic medical gas for various diseases. *Oncotarget*, 8(60), 102653–102673. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.21130>
- Granger, J., & Ward, B. B. (2003). Accumulation of nitrogen oxides in copper-limited cultures of denitrifying bacteria. *Limnology and Oceanography*, 48(1), 313–318. <https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.1.0313>
- Guest, N. S., VanDusseldorp, T. A., Nelson, M. T., Grgic, J., Schoenfeld, B. J., Jenkins, N. D. M., Arent, S. M., Antonio, J., Stout, J. R., Trexler, E. T., Smith-Ryan, A. E., Goldstein, E. R., Kalman, & D. S.,ro Campbell, B. I. (2021). International society of sports nutrition position stand: Caffeine and exercise performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 18(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00383-4>
- Gunawan, A. A. S., Brandon, D., Puspa, V. D., & Wiweko, B. (2018). Development of Urine Hydration System Based on Urine Color and Support Vector Machine. *Procedia Computer Science*, 135, 481–489. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.200>
- Gutiérrez-Hellín, J., & Varillas-Delgado, D. (2021). Energy Drinks and Sports Performance, Cardiovascular Risk, and Genetic Associations; Future Prospects. *Nutrients*, 13(3), 715. <https://doi.org/10.3390/nu13030715>
- Hansen, J. T. (2019). *Netterův vybarvovací anatomický atlas* (M. Bezdičková, přel.; 2. akt. vyd.). CPress.
- Hayashida, K., Sano, M., Ohsawa, I., Shinmura, K., Tamaki, K., Kimura, K., Endo, J., Katayama, T., Kawamura, A., Kohsaka, S., Makino, S., Ohta, S., Ogawa, S., & Fukuda, K. (2008). Inhalation of hydrogen gas reduces infarct size in the rat model of myocardial ischemia–reperfusion injury. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 373(1), 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2008.05.165>
- Hong, C.-T., Hu, C.-J., Lin, H.-Y., & Wu, D. (2021). Effects of concomitant use of hydrogen water and photobiomodulation on Parkinson disease: A pilot study. *Medicine*, 100(4), e24191. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000024191>

- Hussain, T., Tan, B., Yin, Y., Blachier, F., Tossou, M. C. B., & Rahu, N. (2016). Oxidative Stress and Inflammation: What Polyphenols Can Do for Us? *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2016/7432797>
- Cheuvront, S. N., & Kenefick, R. W. (2014). Dehydration: Physiology, Assessment, and Performance Effects. In R. Terjung (Ed.), *Comprehensive Physiology* (1. vyd., s. 257–285). Wiley. <https://doi.org/10.1002/cphy.c130017>
- Childs, E., Hohoff, C., Deckert, J., Xu, K., Badner, J., & De Wit, H. (2008). Association between ADORA2A and DRD2 Polymorphisms and Caffeine-Induced Anxiety. *Neuropsychopharmacology*, 33(12), 2791–2800. <https://doi.org/10.1038/npp.2008.17>
- Chrobák, L. et al. (2007). *Propedeutika vnitřního lékařství: Nové, zcela přepracované vydání, doplněné testy* (2. vyd.). Grada.
- Jabor, A., Fenclová E., Franeková J., Herold I., Holub Z., Kazda A., Kvasnicová V., Pagáčová L., Pikner R., Štern P., Švarcová M., Vávrová J., & Wilhelm Z. (2008). *Vnitřní prostředí* (1. vyd.). Grada.
- Jeligová, H., & Kožíšek, F. (2010). Pitný režim: proč, kolik a co vlastně pít? *Interní medicína*, 12(7), 388-389.
- Johnsen, H. M., Hiorth, M., & Klaveness, J. (2023). Molecular Hydrogen Therapy—A Review on Clinical Studies and Outcomes. *Molecules*, 28(23), 7785. <https://doi.org/10.3390/molecules28237785>
- Johnson, A. K. (2009). Osmoregulation. In *Encyclopedia of Neuroscience* (s. 309–316). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008045046-9.00463-0>
- Jolly, W. L., "hydrogen". *Encyclopedia Britannica*, 5 May. 2024, <https://www.britannica.com/science/hydrogen>. Accessed 10 June 2024.
- Katsumata, Y., Sano, F., Abe, T., Tamura, T., Fujisawa, T., Shiraishi, Y., Kohsaka, S., Ueda, I., Homma, K., Suzuki, M., Okuda, S., Maekawa, Y., Kobayashi, E., Hori, S., Sasaki, J., Fukuda, K., & Sano, M. (2017). The Effects of Hydrogen Gas Inhalation on Adverse Left Ventricular Remodeling After Percutaneous Coronary Intervention for ST-Elevated Myocardial Infarction — First Pilot Study in Humans —. *Circulation Journal*, 81(7), 940–947. <https://doi.org/10.1253/circj.CJ-17-0105>
- Kawaciuk, I. (2009). *Urologie* (1. vyd.). Galén.
- Kawamura, T., Higashida, K., & Muraoka, I. (2020). Application of Molecular Hydrogen as a Novel Antioxidant in Sports Science. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2020, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2020/2328768>
- Kenefick, R. W. (2018). Drinking Strategies: Planned Drinking Versus Drinking to Thirst. *Sports Medicine*, 48(S1), 31–37. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0844-6>

- Kenefick, R. W., & Cheuvront, S. N. (2012). Hydration for recreational sport and physical activity. *Nutrition Reviews*, 70, S137–S142. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2012.00523.x>
- Kittnar, O., Jandová K., Kuriščák E., Langmeier M., Marešová D., Mlček M., Mysliveček J., Pokorný J., Riljak V., & Trojan S. (2020). *Lékařská fyziologie* (2., přepr. a dop. vyd.). Grada.
- Klimešová, I. (2016). *Základy sportovní výživy* (1. vyd.). Univerzita Palackého v Olomouci.
- Knechtle, B., Knechtle, P., Wirth, A., Alexander Rüst, C., & Rosemann, T. (2012). A faster running speed is associated with a greater body weight loss in 100-km ultra-marathoners. *Journal of Sports Sciences*, 30(11), 1131–1140. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.692479>
- Knepper, M. A., Kwon, T. H., & Nielsen, S. (2015). Molecular Physiology of Water Balance. *New England Journal of Medicine*, 372(14), 1349–1358. <https://doi.org/10.1056/NEJMra1404726>
- Kumar, S., & Pandey, A. (2015). Free Radicals: Health Implications and their Mitigation by Herbs. *British Journal of Medicine and Medical Research*, 7(6), 438–457. <https://doi.org/10.9734/BJMMR/2015/16284>
- Langmeier, M., Kittnar O., Marešová D., & Pokorný J. (2009). *Základy lékařské fyziologie* (1. vyd.). Grada.
- LeBaron, T. W., Sharpe, R., & Ohno, K. (2022). Electrolyzed–Reduced Water: Review I. Molecular Hydrogen Is the Exclusive Agent Responsible for the Therapeutic Effects. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(23), 14750. <https://doi.org/10.3390/ijms232314750>
- Lee, D., & Choi, J.-I. (2021). Hydrogen-Rich Water Improves Cognitive Ability and Induces Antioxidative, Antiapoptotic, and Anti-Inflammatory Effects in an Acute Ischemia-Reperfusion Injury Mouse Model. *BioMed Research International*, 2021, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2021/9956938>
- Li, S.-Y., Xue, R.-Y., Wu, H., Pu, N., Wei, D., Zhao, N., Song, Z.-M., & Tao, Y. (2023). Novel Role of Molecular Hydrogen: The End of Ophthalmic Diseases? *Pharmaceuticals*, 16(11), 1567. <https://doi.org/10.3390/ph16111567>
- Li, S.-Y., Xue, R.-Y., Wu, H., Pu, N., Wei, D., Zhao, N., Song, Z.-M., & Tao, Y. (2023). Novel Role of Molecular Hydrogen: The End of Ophthalmic Diseases? *Pharmaceuticals*, 16(11), 1567. <https://doi.org/10.3390/ph16111567>
- Liu, J., Zhang, Z., Pang, X., Cheng, Y., Man, D., He, X., Zhao, H., Zhao, R., & Wang, W. (2021). Analysis of the Distribution of Urine Color and Its Relationship With Urine Dry Chemical Parameters Among College Students in Beijing, China – A Cross-Sectional Study. *Frontiers in Nutrition*, 8, 719260. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.719260>

- Lohsiriwat, S., Hirunsai, M., & Chaiyaprasithi, B. (2011). Effect of caffeine on bladder function in patients with overactive bladder symptoms. *Urology Annals*, 3(1), 14. <https://doi.org/10.4103/0974-7796.75862>
- Mareš, J., Herzig, R., & Kaňovský, P. (2005). Močová inkontinence z pohledu neurologa. *Interní medicína pro praxi*, 7(4), 187-192.
- Marx, B., Scuvée, É., Scuvée-Moreau, J., Seutin, V., & Jouret, F. (2016). Mécanismes de l'effet diurétique de la caféine. *médecine/sciences*, 32(5), 485–490. <https://doi.org/10.1051/medsci/20163205015>
- Matei, N., Camara, R., & Zhang, J. (2018). Emerging mechanisms and novel applications of hydrogen gas therapy. *Medical Gas Research*, 8(3), 98. <https://doi.org/10.4103/2045-9912.239959>
- Matějovská Kubešová, H. (2012). Pitný režim jako součást léčebného schématu u seniorů. *Geriatric a Gerontologie*, 1(2), 85-28.
- McDermott, B. P., Anderson, S. A., Armstrong, L. E., Casa, D. J., Chevront, S. N., Cooper, L., Kenney, W. L., O'Connor, F. G., & Roberts, W. O. (2017). National Athletic Trainers' Association Position Statement: Fluid Replacement for the Physically Active. *Journal of Athletic Training*, 52(9), 877–895. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-52.9.02>
- McKinley, M. J., & Johnson, A. K. (2004). The Physiological Regulation of Thirst and Fluid Intake. *Physiology*, 19(1), 1–6. <https://doi.org/10.1152/nips.01470.2003>
- Merkunová, A., & Orel, M. (2008). *Anatomie a fyziologie člověka pro humanitní obory* (1. vyd.). Grada.
- Merta, M. (2011). Anurie. *Urologie pro praxi*, 12(5), 302-305.
- Meyer, F., Szygula, Z., & Wilk, B. (Ed.). (2016). *Fluid balance, hydration, and athletic performance*. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Mikami, T., Tano, K., Lee, H., Lee, H., Park, J., Ohta, F., LeBaron, T. W., & Ohta, S. (2019). Drinking hydrogen water enhances endurance and relieves psychometric fatigue: A randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 97(9), 857–862. <https://doi.org/10.1139/cjpp-2019-0059>
- Montull, L., Slapšinskaitė-Dackevičienė, A., Kiely, J., Hristovski, R., & Balagué, N. (2022). Integrative Proposals of Sports Monitoring: Subjective Outperforms Objective Monitoring. *Sports Medicine - Open*, 8(1), 41. <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00432-z>
- Moradi, B., Saberi E., Hasani A., & Saheb A. M. (2020). The role of drinking hydrogen-rich water produced by alkaline stick on resistance exercise in athletes. *Health Biotechnology and Biopharma Journal*. <https://doi.org/10.22034/HBB.2020.28>

- Mourek, J. (2012). *Fyziologie: Učebnice pro studenty zdravotnických oborů* (2., dopl. vyd.). Grada.
- Nečas, E., Humlová Z., Klener P., Kofránek J., Krij J., Maršálek P., Maruna P., Mělková Z., Prokešová L., Stopka T., Šulc K., Vokurka M., & Živný J. (2021). *Obecná patologická fyziologie* (5. uprav. vyd.). Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum.
- Nuccio, R. P., Barnes, K. A., Carter, J. M., & Baker, L. B. (2017). Fluid Balance in Team Sport Athletes and the Effect of Hypohydration on Cognitive, Technical, and Physical Performance. *Sports Medicine*, 47(10), 1951–1982. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0738-7>
- Obeng, E. (2021). Apoptosis (programmed cell death) and its signals—A review. *Brazilian Journal of Biology*, 81(4), 1133–1143. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.228437>
- Ohno, K., Ito, M., & Ichihara, M. (2012). Molecular Hydrogen as an Emerging Therapeutic Medical Gas for Neurodegenerative and Other Diseases. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2012, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2012/353152>
- Ohsawa, I., Ishikawa, M., Takahashi, K., Watanabe, M., Nishimaki, K., Yamagata, K., Katsura, K., Katayama, Y., Asoh, S., & Ohta, S. (2007). Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals. *Nature Medicine*, 13(6), 688–694. <https://doi.org/10.1038/nm1577>
- Ohta, S. (2011). Recent Progress Toward Hydrogen Medicine: Potential of Molecular Hydrogen for Preventive and Therapeutic Applications. *Current Pharmaceutical Design*, 17(22), 2241–2252. <https://doi.org/10.2174/138161211797052664>
- Ohta, S. (2012). Molecular hydrogen is a novel antioxidant to efficiently reduce oxidative stress with potential for the improvement of mitochondrial diseases. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*, 1820(5), 586–594. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2011.05.006>
- Ohta, S. (2014). Molecular hydrogen as a preventive and therapeutic medical gas: Initiation, development and potential of hydrogen medicine. *Pharmacology & Therapeutics*, 144(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2014.04.006>
- Ono, H., Nishijima, Y., Ohta, S., Sakamoto, M., Kinone, K., Horikosi, T., Tamaki, M., Takeshita, H., Futatuki, T., Ohishi, W., Ishiguro, T., Okamoto, S., Ishii, S., & Takanami, H. (2017). Hydrogen Gas Inhalation Treatment in Acute Cerebral Infarction: A Randomized Controlled Clinical Study on Safety and Neuroprotection. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 26(11), 2587–2594. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.06.012>
- Orel, M. (2019). *Anatomie a fyziologie lidského těla: Pro humanitní obory* (1. vyd.). Grada.

- Orr, A. W., Hahn, C., Blackman, B. R., & Schwartz, M. A. (2008). P21-Activated Kinase Signaling Regulates Oxidant-Dependent NF- κ B Activation by Flow. *Circulation Research*, 103(6), 671–679. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.108.182097>
- Orrù, S., Imperlini, E., Nigro, E., Alfieri, A., Cevenini, A., Polito, R., Daniele, A., Buono, P., & Mancini, A. (2018). Role of Functional Beverages on Sport Performance and Recovery. *Nutrients*, 10(10), 1470. <https://doi.org/10.3390/nu10101470>
- Ostojic, S. (2015). Molecular Hydrogen in Sports Medicine: New Therapeutic Perspectives. *International Journal of Sports Medicine*, 36(04), 273–279. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1395509>
- Pacher, P., Beckman, J. S., & Liaudet, L. (2007). Nitric Oxide and Peroxynitrite in Health and Disease. *Physiological Reviews*, 87(1), 315–424. <https://doi.org/10.1152/physrev.00029.2006>
- Pallarés, J. G., Fernández-Elías, V. E., Ortega, J. F., Muñoz, G., Muñoz-Guerra, J., & Mora-Rodríguez, R. (2013). Neuromuscular Responses to Incremental Caffeine Doses: Performance and Side Effects. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(11), 2184–2192. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31829a6672>
- Pero, R., Brancaccio, M., Mennitti, C., Gentile, L., Arpino, S., De Falco, R., Leggiero, E., Ranieri, A., Pagliuca, C., Colicchio, R., Salvatore, P., D'Alicandro, G., Frisso, G., Lombardo, B., Mazzaccara, C., Faraonio, R., & Scudiero, O. (2020). Urinary Biomarkers: Diagnostic Tools for Monitoring Athletes' Health Status. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(17), 6065. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176065>
- Peti-Peterdi, J., & Harris, R. C. (2010). Macula Densa Sensing and Signaling Mechanisms of Renin Release. *Journal of the American Society of Nephrology*, 21(7), 1093–1096. <https://doi.org/10.1681/ASN.2009070759>
- Petřek, J. (2019). *Základy fyziologie člověka pro nelékařské zdravotnické obory* (1. vyd.). Grada.
- Pizzino, G., Irrera, N., Cucinotta, M., Pallio, G., Mannino, F., Arcoraci, V., Squadrito, F., Altavilla, D., & Bitto, A. (2017). Oxidative Stress: Harms and Benefits for Human Health. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2017/8416763>
- Popkin, B. M., D'Anci, K. E., & Rosenberg, I. H. (2010). Water, hydration, and health: Nutrition Reviews©, Vol. 68, No. 8. *Nutrition Reviews*, 68(8), 439–458. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2010.00304.x>
- Prudius, D., Matějovská Kubešová, H., Weber, P., Prudius, V., Polcarová, V., & Bielaková, K. (2014). Dehydratace ve stáří. *Geriatric a Gerontologie*, 3(4), 188-190.

- Pruteanu, L. L., Bailey, D. S., Grădinaru, A. C., & Jäntschi, L. (2023). The Biochemistry and Effectiveness of Antioxidants in Food, Fruits, and Marine Algae. *Antioxidants*, *12*(4), 860. <https://doi.org/10.3390/antiox12040860>
- Racek, J., Eiselt, J., Friedecký, B., Holeček, V., Nekulová, M., Pittrová, H., Rušavý, Z., Senft V., Šavlová M., Těšínský P., Verner M. (2006). *Klinická biochemie* (2., přepr. vyd). Galén.
- Rahman, Md. H., Jeong, E.-S., You, H. S., Kim, C.-S., & Lee, K.-J. (2023). Redox-Mechanisms of Molecular Hydrogen Promote Healthful Longevity. *Antioxidants*, *12*(5), 988. <https://doi.org/10.3390/antiox12050988>
- Resl, V., Frei, J., & Krocová, J. (2021). *Základní přehled dermatovenerologie*. Západočeská univerzita v Plzni.
- Rodak, K., Kokot, I., & Kratz, E. M. (2021). Caffeine as a Factor Influencing the Functioning of the Human Body—Friend or Foe? *Nutrients*, *13*(9), 3088. <https://doi.org/10.3390/nu13093088>
- Rokyta, R., Bernášková K., Franěk M., Jurčovičová J., Kozák T., Kříž N., Mareš J., Matějovská I., Nohejlová K., Pekárková I., Pometlová M., Rokyta P., Rokyťová V., Šlamberová R., Štofková Andrea., & Ymamotová A. (2015). *Fyziologie a patologická fyziologie: Pro klinickou praxi* (1. vyd.). Grada.
- Rosch, M., Lucas, K., Al-Gousous, J., Pöschl, U., & Langguth, P. (2021). Formulation and Characterization of an Effervescent Hydrogen-Generating Tablet. *Pharmaceuticals*, *14*(12), 1327. <https://doi.org/10.3390/ph14121327>
- Ruiz, Y. & García, M. (2022). Isotonic sports drinks: formulation and physiological effects of their consumption. *QhaliKay Revista de Ciencias de la Salud* ISSN 2588-0608. 6. 73-84.
- Saengsin, K., Sittiwangkul, R., Chattipakorn, S. C., & Chattipakorn, N. (2023). Hydrogen therapy as a potential therapeutic intervention in heart disease: From the past evidence to future application. *Cellular and Molecular Life Sciences*, *80*(6), 174. <https://doi.org/10.1007/s00018-023-04818-4>
- Saimaiti, A., Zhou, D.-D., Li, J., Xiong, R.-G., Gan, R.-Y., Huang, S.-Y., Shang, A., Zhao, C.-N., Li, H.-Y., & Li, H.-B. (2023). Dietary sources, health benefits, and risks of caffeine. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *63*(29), 9648–9666. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2074362>
- Shaheen, N. A., Alqahtani, A. A., Assiri, H., Alkhodair, R., & Hussein, M. A. (2018). Public knowledge of dehydration and fluid intake practices: Variation by participants' characteristics. *BMC Public Health*, *18*(1), 1346. <https://doi.org/10.1186/s12889-018-6252-5>

- Shao, A., Wu, H., Hong, Y., Tu, S., Sun, X., Wu, Q., Zhao, Q., Zhang, J., & Sheng, J. (2016). Hydrogen-Rich Saline Attenuated Subarachnoid Hemorrhage-Induced Early Brain Injury in Rats by Suppressing Inflammatory Response: Possible Involvement of NF- κ B Pathway and NLRP3 Inflammasome. *Molecular Neurobiology*, 53(5), 3462–3476. <https://doi.org/10.1007/s12035-015-9242-y>
- Silbernagl, S., Despopoulos, A., Jandová, K., Langmeier, M., Kittnar, O., Kuriščák, E., Mlčková, P., Nedbalová, M., Riljak, Vladimír., & Wittner, M. (2016). *Atlas fyziologie člověka: Překlad 8. německého vydání* (4. čes. Vyd.). Grada.
- Sim, M., Kim, C.-S., Shon, W.-J., Lee, Y.-K., Choi, E. Y., & Shin, D.-M. (2020). Hydrogen-rich water reduces inflammatory responses and prevents apoptosis of peripheral blood cells in healthy adults: A randomized, double-blind, controlled trial. *Scientific Reports*, 10(1), 12130. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68930-2>
- Singh, R. B., Tarnava, A., Fatima, G., Fedacko, J., Mojto, V., & LeBaron, T. W. (2023). Can Hydrogen Water Enhance Oxygen Saturation in Patients with Chronic Lung Disease? A Non-Randomized, Observational Pilot Study. *Diseases*, 11(4), 127. <https://doi.org/10.3390/diseases11040127>
- Singhal, SR, Ghalaut, V., Lata, S., Madaan, H., Kadian, V., & Sachdeva, A. (2014). Korelace 2hodinového, 4hodinového, 8hodinového a 12hodinového proteinu v moči s 24hodinovým močovým proteinem u preeklampsie. *Journal of Family and Reproductive Health*, 8 (3), 131-134. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4275555/>
- Slezák, J., Kura, B., Frimmel, K., Zálešák, M., Ravingerová, T., Viczenczová, C., Okruhlicová, L., & Tribulová, N. (2016). Preventive and Therapeutic Application of Molecular Hydrogen in Situations With Excessive Production of Free Radicals. *Physiological Research*, S11–S28. <https://doi.org/10.33549/physiolres.933414>
- Song, G., Tian, H., Qin, S., Sun, X., Yao, S., Zong, C., Luo, Y., Liu, J., Yu, Y., Sang, H., & Wang, X. (2012). Hydrogen decreases athero-susceptibility in apolipoprotein B-containing lipoproteins and aorta of apolipoprotein E knockout mice. *Atherosclerosis*, 221(1), 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2011.11.043>
- Song, G., Zong, C., Zhang, Z., Yu, Y., Yao, S., Jiao, P., Tian, H., Zhai, L., Zhao, H., Tian, S., Zhang, X., Wu, Y., Sun, X., & Qin, S. (2015). Molecular hydrogen stabilizes atherosclerotic plaque in low-density lipoprotein receptor-knockout mice. *Free Radical Biology and Medicine*, 87, 58–68. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2015.06.018>
- Šafka, V., Fajfrová, J., Pavlík, V., Kučera, O., & Hůlek, P. (2019). Doporučený příjem tekutin a evidence-based medicine. *Časopis lékařů českých*, 158(3-4), 141-146.

- Šefčíková, M., Sochorová, N., Hilšerová, S., & Šarapatka, J. (2014). Tekutiny a lidský organizmus. *Urologie pro praxi*, 15(2), 86-88.
- Ševčík, P., & Matějovič, M. (2014). *Intenzivní medicína* (3., přeprac. a rozš. vyd). Galén.
- Tang, C., Wang, L., Chen, Z., Yang, J., Gao, H., Guan, C., Gu, Q., He, S., Yang, F., Chen, S., Ma, L., Zhang, Z., Zhao, Y., Tang, L., Xu, Y., Hu, Y., & Luo, X. (2023). Efficacy and Safety of Hydrogen Therapy in Patients with Early-Stage Interstitial Lung Disease: A Single-Center, Randomized, Parallel-Group Controlled Trial. *Therapeutics and Clinical Risk Management, Volume 19*, 1051–1061. <https://doi.org/10.2147/TCRM.S438044>
- Tesař, V., Viklický, O., Bartoníčková, Bouček P., Bürgelová M., Čertíková-Chábová V., Dusilová Sulková S., Honsová E., Hrušková Z., Jančová E., Lyerová L., Matějovič M., Monhart V., Paříková A., Reiterová J., Rychlík I., Ryšavá R., & Vachek J. (2015). *Klinická nefrologie* (2., zcela přep. dop. vyd.). Grada.
- Tian, Y., Zhang, Y., Wang, Y., Chen, Y., Fan, W., Zhou, J., Qiao, J., & Wei, Y. (2021). Hydrogen, a Novel Therapeutic Molecule, Regulates Oxidative Stress, Inflammation, and Apoptosis. *Frontiers in Physiology*, 12, 789507. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.789507>
- Timón, R., Olcina, G., González-Custodio, A., Camacho-Cardenosa, M., Camacho-Cardenosa, A., & Guardado, I. (2021). Effects of 7-day intake of hydrogen-rich water on physical performance of trained and untrained subjects. *Biology of Sport*, 38(2), 269–275. <https://doi.org/10.5114/biolport.2020.98625>
- Tobias, A., Ballard, B. D., & Mohiuddin, S. S. (2022). *Physiology, Water Balance*. National Library of Medicine. Retrieved April 18, 2024, from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK541059/>
- Todorovic, N., Zanini, D., Stajer, V., Korovljev, D., Ostojic, J., & Ostojic, S. M. (2021). Hydrogen-rich water and caffeine for alertness and brain metabolism in sleep-deprived habitual coffee drinkers. *Food Science & Nutrition*, 9(9), 5139–5145. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2480>
- Trojan, S., Langmeier M., Hrachovina V., Kittnar O., Koudelová J., Kuthan V., Mareš J., Marešová D., Mourek J., Pokorný J., Sedláček J., Schreiber M., Trávníčková E., & Wünsch Z. (2003). *Lékařská fyziologie* (4. přep. a dop. vyd.). Grada.
- Vanková, M., & Maříková, A. (2022). Interpretace nejčastějších močových nálezů. *Svět praktické medicíny*, 3(1), 91-96.
- Vilikus, Z., Mach I., & Brandejský P. (2015). *Výživa sportovců: A sportovní výkon*. Vydala Univerzita Karlova.
- Vokurka, M., & Hugo, J. (2015). *Velký lékařský slovník* (10. aktualizované vydání). Maxdorf.

- Vokurka, M., Kofránek J., Maršálek P., Maruna P., Nečas E., Šulc K., Vokurka M., & Živný J. (2018). *Patofyziologie pro nelékařské směry* (4. uprav. vyd.). Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum.
- Walker, H. K., Hall, W. D., & Hurst, J. W. (Ed.). (1990). *Clinical methods: The history, physical, and laboratory examinations* (3rd ed). Butterworths.
- Wardenaar, F. C., Thompsett, D., Vento, K. A., Pesek, K., & Bacalzo, D. (2021). Athletes' Self-Assessment of Urine Color Using Two Color Charts to Determine Urine Concentration. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(8), 4126. <https://doi.org/10.3390/ijerph18084126>
- Xie, K., Yu, Y., Huang, Y., Zheng, L., Li, J., Chen, H., Han, H., Hou, L., Gong, G., & Wang, G. (2012). Molecular Hydrogen Ameliorates Lipopolysaccharide-Induced Acute Lung Injury in Mice Through Reducing Inflammation and Apoptosis. *Shock*, 37(5), 548–555. <https://doi.org/10.1097/SHK.0b013e31824ddc81>
- Yıldırım, İ., & Koçan, H. (2023). The pH of Drinking Water and Its Effect on the pH of Urine. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.47437>
- Zadák, Z., & Havel, E. (2017). *Intenzivní medicína na principech vnitřního lékařství* (2., dopl. a přep. vyd.). Grada.
- Zanini, D., Stajer, V., & Ostojic, S. M. (2020). Hydrogen vs. Caffeine for Improved Alertness in Sleep-Deprived Humans. *Neurophysiology*, 52(1), 67–72. <https://doi.org/10.1007/s11062-020-09852-7>
- Zhang, G., Deng, T., Deng, R., Sun, X., He, Y., & Liu, Z. (2022). Baseline urine pH is related to effective urine alkalization by short-term alkaline water supplementation: Data from a self-controlled study in healthy Chinese volunteers following a systematic review and meta-analysis of literature. *Translational Andrology and Urology*, 11(5), 710–719. <https://doi.org/10.21037/tau-22-280>
- Zhao, P., Jin, Z., Chen, Q., Yang, T., Chen, D., Meng, J., Lu, X., Gu, Z., & He, Q. (2018). Local generation of hydrogen for enhanced photothermal therapy. *Nature Communications*, 9(1), 4241. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06630-2>

11 PŘÍLOHY

Příloha 1

Vyjádření etické komise



Fakulta
tělesné kultury

Genius loci ...

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 24. 11. 2017 byl projekt výzkumné práce /aplikovaného výzkumu/

autor /hlavní řešitel/: **Michal Botek**,
spoluřešitelé: **Miroslav Žák, Barbora Sládečková, Filip Neuls, Iva Klimešová a Jaroslav Vyhnánek, Amr Zaatar, Michal Lehnert**

s názvem **Vliv orálního užití hydrogenované vody na funkční stav organismu v klidu, během zatížení a zotavení**

schválen Etickou komisí FTK UP pod jednacím číslem: 75/2017
dne: 15. 12. 2017.

Etická komise FTK UP zhodnotila předložený projekt a **neshledala žádné rozpory** s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směnicemi 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

Fakulta tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci
třída Míru 117 | 771 11 Olomouc | T: +420 585 636 009
www.ftk.upol.cz

Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury
Komise etická
třída Míru 117 | 771 11 Olomouc

Příloha 2

Informovaný souhlas

Informovaný souhlas-komerční

Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury
Křížkovského 511/8, 771 47, Olomouc
IČ: 61989592
Osoba, která provedla poučení:

Účastník:

Jméno a příjmení:
Datum narození:
Bydliště:

Název úkonu:

- 1) **Specifikace úkonu, jeho účel, očekávané trvání a průběh**
- 2) **Informace o provedených vstupních lékařských vyšetřeních účastníka**
Podle rizika úkonu potvrzení o zdravotním stavu účastníka, které může limitovat úkon, eventuálně může účastníka z úkonu vyloučit. Potvrzení vydá spádový lékař, u kterého je účastník registrován. Účastník potvrzení o zdravotním stavu předá osobě, která provedla jeho poučení, před zahájením úkonu.
- 3) **Možná rizika úkonu, zejména možné dopady na zdravotní stav účastníka**
V průběhu úkonu dochází vzhledem k různému typu zátěže k ovlivnění základních životních funkcí a může dojít ke kolapsovému stavu, srdečnímu selhání, selhání dýchání a k poruše činnosti centrálního nervového systému. Nejsou vyloučena různá traumata v důsledku možného pádu.
- 4) **Informace o omezení v obvyklém způsobu života předcházející úkonu, v průběhu nebo po skončení úkonu**
- 5) **Informace o zpracování osobních údajů účastníka v průběhu a po skončení úkonu**
Veškerá práva a povinnosti při zpracování osobních údajů se řídí zákonem č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „zákon“) a nařízením EU 2016/679 ze dne 27. dubna 2016, o ochraně fyzických osob v souvislosti se zpracováním osobních údajů a o volném pohybu těchto údajů.
Pro účely vedení evidence a pro účely týkající se vyhodnocení a použití výsledků úkonu budou subjektem realizujícím úkon zpracovány následující osobní a citlivé údaje o účastníkovi:
 - a) jméno a příjmení,
 - b) datum narození,
 - c) bydliště,
 - d) informace o zdravotním stavu – zjištěné při vstupním lékařském vyšetření realizovaném v souladu s bodem 2 tohoto informovaného souhlasu,
 - e) výsledky zátěžového testování,(dále jen „osobní a citlivé údaje“).
Poskytnutí osobních a citlivých údajů účastníkem subjektu realizujícímu úkon je dobrovolné. Pokud účastník odmítne poskytnout subjektu realizujícímu úkon uvedené osobní a citlivé údaje, nemůže se úkonu zúčastnit.

Pro účely propagace odborné činnosti subjektu realizujícího úkon může být v průběhu realizovaného úkonu pořizován zaměstnancem subjektu fotografický nebo audiovizuální záznam, který může být zveřejněn na webových stránkách subjektu či v informačních materiálech vydaných subjektem. Souhlas k pořizení takového záznamu není podmínkou realizace odborného úkonu.

Zpracováním osobních a citlivých údajů se rozumí shromažďování těchto osobních a citlivých údajů, ukládání na nosiče informací, jejich vyhledávání, používání, uchovávání, třídění a likvidace.

Subjekt realizující úkon bude zpracovávat osobní a citlivé údaje pouze v souladu s účelem, k němuž byly shromážděny.

Osobní a citlivé údaje budou subjektem realizujícím úkon zpracovávány po dobu..... Po uplynutí uvedené doby budou osobní a citlivé údaje účastníka zlikvidovány subjektem realizujícím úkon v souladu s ust. § 20 zákona.

Osobní a citlivé údaje účastníka nebudou poskytnuty žádným třetím subjektům.

Účastník má v souladu s ust. § 12 zákona právo na informace o zpracování svých osobních a citlivých údajů (tj. právo na přístup ke všem údajům o své osobě) a v souladu s ust. § 21 odst. 1 zákona právo požádat subjekt realizující úkon o vysvětlení, pokud zjistil nebo se domnívá, že subjekt realizující úkon provádí zpracování jeho osobních údajů, které je v rozporu s ochranou jeho soukromého a osobního života nebo v rozporu se zákonem, zejména jsou-li osobní údaje nepřesné s ohledem na účel jejich zpracování. Účastník má právo požadovat, aby správce (tj. UP) odstranil takto vzniklý závažný stav, zejména se může jednat o blokování, provedení opravy, doplnění nebo likvidaci osobních údajů.

6) Prohlášení účastníka:

- a) Prohlašuji, že jsem byl seznámen s postupem a riziky úkonu a dobrovolně souhlasím se svou účastí na úkonu.
- b) Prohlašuji, že jsem plně způsobilý k právním úkonům.
- c) Prohlašuji, že jsem porozuměl tomu, že svou účast na úkonu mohu kdykoliv přerušit nebo z účasti na úkonu mohu kdykoliv odstoupit.
- d) Prohlašuji, že beru na vědomí informace obsažené v bodě 5 tohoto informovaného souhlasu a souhlasím se zpracováním mých osobních údajů v rozsahu, způsobem a za účelem specifikovaným v bodě 5 tohoto informovaného souhlasu.
- e) Prohlašuji, že jsem byl poučen o možnosti klást oprávněné osobě, která provedla mé poučení, doplňující otázky a na tyto doplňující otázky mi bylo odpovězeno.
- f) Prohlašuji, že mi nejsou známy žádné, zejména zdravotní, důvody, pro které bych se nemohl úkonu účastnit.
- g) Beru na vědomí, že úkon není zdravotním úkonem ani zdravotním vyšetřením.
- h) Prohlašuji, že všem výše uvedeným skutečnostem a poskytnutým informacím rozumím a beru je na vědomí. Nemám žádné další otázky ani nejasnosti a vyslovuji svůj výslovný svobodný informovaný souhlas s účastí na úkonu.

V Olomouci dne

jméno a příjmení účastníka
podpis účastníka nebo jeho zákonného zástupce