

UNIVERZITA KARLOVA
Fakulta tělesné výchovy a sportu

DISERTAČNÍ PRÁCE

2025

Mgr. Patrik Vymyslický

UNIVERZITA KARLOVA
Fakulta tělesné výchovy a sportu
Katedra fyzioterapie

**Vliv mentální zátěže na pohlavní rozdíly ve svalové
unavitelnosti během izometrické kontrakce m. biceps brachii
u zdravých jedinců**

Disertační práce

Vedoucí disertační práce:

Doc. PaedDr. Dagmar Pavlů, CSc.

Vypracoval:

Mgr. Patrik Vymyslický

Odborný konzultant:

MUDr. David Pánek, Ph.D.

Praha, červen 2025

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma „Vliv mentální zátěže na pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti m. biceps brachii u zdravých jedinců“ zpracoval samostatně pod vedením školitelky doc. PaedDr. Dagmar Pavlů, CSc., uvedl všechny použité informační zdroje v seznamu použité literatury a dodržel zásady vědecké etiky. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne

.....

Mgr. Patrik Vymyslický

Poděkování

Rád bych poděkoval své školitelce doc. PaedDr. Dagmar Pavlů, CSc. za odborné vedení, cenné rady a přátelský přístup při psaní disertační práce i během celého doktorského studia. Poděkování patří také MUDr. Davidovi Pánkovi, Ph.D. za jeho čas věnovaný konzultacím. Děkuji rovněž všem účastníkům studie, kteří výzkumu věnovali svůj volný čas a energii.

Velké poděkování za bezmeznou podporu v průběhu studia věnuji také své rodině, která se nedávno rozrostla o dceru Amélii – společné chvíle se tak staly ještě důležitějšími a krásnějšími.

Abstrakt

Název: Vliv mentální zátěže na pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti během izometrické kontrakce m. biceps brachii u zdravých jedinců.

Cíl: Cílem této disertační práce je zjistit, zda má těžká mentální zátěž během izometrické kontrakce do selhání m. biceps brachii nedominantní horní končetiny o intenzitě 40 % MVC větší vliv na svalovou unavitelnost u žen než u mužů.

Metody: Sedmnáct mužů (27.1 ± 2.5 roku) a sedmnáct žen (26.2 ± 3.5 roku) se zúčastnilo dvou sezení (kontrolní a experimentální), kde prováděli izometrickou kontrakci m. biceps brachii do selhání o intenzitě 40 % maximální volní kontrakce (MVC). Na kontrolním sezení účastníci prováděli pouze izometrickou kontrakci do selhání. Na experimentálním sezení prováděli izometrickou kontrakci se současnou těžkou mentální zátěží (odečítání čísla 13 od libovolného čtyřciferného čísla). Sledován byl čas do selhání (TTF) a procentuální pokles mediánu frekvence (MDF) elektromyografického signálu.

Výsledky: V této studii nebyl pozorován statisticky významný *interakční efekt pohlaví $\times$ sezení* – obě pohlaví reagovala na těžkou mentální zátěž během izometrické kontrakce o intenzitě 40 % MVC podobně, a to z hlediska TTF i procentuálního poklesu MDF. Nebyl pozorován ani žádný *vliv sezení*, protože těžká mentální zátěž nezpůsobila žádné statisticky významné změny v TTF ani procentuálním poklesu MDF u jednotlivých pohlaví. Na druhou stranu jsme pozorovali *vliv pohlaví* na TTF, protože ženy vykazovaly statisticky významně delší TTF než muži na obou sezeních (o 47.9 % na kontrolním sezení a o 56.4 % na sezení experimentálním), přestože procentuální pokles MDF byl u obou pohlaví podobný.

Klíčová slova: pohlavní rozdíly, svalová únava, mentální zátěž

Abstract

Title: Effect of mental task on sex differences in muscle fatigability during isometric contraction of the biceps brachii in healthy individuals.

Objectives: The aim of this study is to determine whether heavy mental task performed during isometric contraction to failure of the biceps brachii muscle of the non-dominant upper limb at an intensity of 40 % MVC has a more significant effect on muscle fatigability in women than in men.

Methods: Seventeen men (27.1 ± 2.5 years) and seventeen women (26.2 ± 3.5 years) attended two sessions (control and stressor) where they performed isometric contraction of the biceps brachii muscle to failure at an intensity of 40% maximum voluntary contraction (MVC). In control session, the participants performed the isometric contraction to failure alone. In stressor session, a simultaneous heavy mental task was included (subtracting the number 13 from any four-digit number). The time to task failure (TTF) and percentage decrease in the median frequency (MDF) were monitored.

Results: We did not observe a sex:session interaction effect for the TTF nor the MDF percentage decrease and therefore we can assume that simultaneous heavy mental task did not affect women more than men. We also did not observe a session effect, so we also can state that the simultaneous heavy mental task did not affect the TTF or the MDF percentage decrease. A sex effect was not observed for the percentage decrease in MDF, but it was statistically significant for TTF, where women lasted 47.9% longer in the control session and 56.4% longer in the stressor session. The simultaneous heavy mental task during isometric contraction to failure of the biceps brachii muscle of moderate intensity does not have a greater effect on women than on men.

Keywords: sex differences, muscle fatigue, mental task

Obsah

1 Úvod	11
2 Teoretická východiska	13
2.1 Únava	13
2.1.1 Definice a vymezení pojmu	13
2.1.2 Taxonomie únavy	13
2.1.2.1 Motorická výkonnostní únava	14
2.1.2.2 Vnímaná motorická únava	15
2.1.2.3 Kognitivní výkonnostní únava	17
2.1.2.4 Vnímaná kognitivní únava	17
2.1.3 Možnosti objektivizace svalové únavy	18
2.1.3.1 Biomarkery	18
2.1.3.2 Subjektivní škály	19
2.1.3.3 Povrchová elektromyografie	20
2.2 Pohlavní rozdíly	21
2.2.1 Pohlaví a gender	21
2.2.2 Pohlavní rozdíly u m. biceps brachii	22
2.2.3 Pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti	24
2.2.3.1 Statická (izometrická) kontrakce	27
2.2.3.2 Dynamická (koncentrická) kontrakce	29
2.2.3.3 Dynamická (excentrická) kontrakce	30
2.2.4 Příčiny pohlavních rozdílů ve svalové unavitelnosti	30
2.2.4.1 Svalová hmota a silová vybavenost	30
2.2.4.2 Prokrvení svalu	31
2.2.4.3 Typy svalových vláken	32
2.2.4.4 Metabolismus kosterního svalu	34
2.2.4.5 Volní aktivace a centrální nervový systém	34
2.2.4.6 Menstruační cyklus	36
2.2.4.7 Sociologické faktory	36
2.2.4.8 Genetické a hormonální faktory	37
2.2.5 Praktický význam pohlavních rozdílů ve svalové unavitelnosti	39
2.3 Mentální zátěž	40
2.3.1 Mentální zátěž a svalová unavitelnost	40
2.3.1.1 Exekutivní funkce	41
2.3.1.2 Paměťové vybavování	42
2.3.1.3 Kombinované/komplexní zpracovávání	42
2.4 Současný stav poznání řešení problematiky	43
3 Cíle práce, úkoly, výzkumné otázky a hypotézy	47
3.1 Cíle práce	47
3.2 Úkoly práce	47

3.3 Výzkumné otázky	47
3.4 Hypotézy	48
4 Metodika	50
4.1 Výzkumný soubor	50
4.2 Hodnotící nástroje.....	50
4.2.1 Povrchová elektromyografie.....	50
4.2.2 Škála vnímané únavy	51
4.3 Průběh měření.....	51
4.4 Analýza a statistické vyhodnocení dat	54
4.4.1 Analýza dat	54
4.4.2 Statistické vyhodnocení dat	54
5 Výsledky.....	56
6 Diskuze	65
6.1 Diskuze k hypotéze č. 1 a 2.....	66
6.2 Diskuze k hypotéze č. 3 a 4.....	71
6.3 Diskuze k hypotéze č. 5 a 6.....	75
6.4 Diskuze k hypotéze č. 7.....	78
6.5 Diskuze k metodologickému postupu studie	80
6.6 Diskuze k praktickým implikacím výsledků	80
6.7 Diskuze k limitacím studie	83
6.8 Diskuze k budoucímu směřování výzkumu.....	84
7 Závěr	86
8 Referenční seznam	88
9 Seznam obrázků	138
10 Seznam tabulek	139
11 Seznam grafů.....	140
12 Seznam příloh.....	141

Seznam zkratek

1RM	maximum pro jedno opakování (z angl. <i>one repetition maximum</i>)
ACC	přední cingulární kůra (z angl. <i>anterior cingulate cortex</i>)
ATP	adenosintrifosfát
BB	dvojhlavý sval pažní (z angl. <i>biceps brachii</i>)
BMI	index tělesné hmotnosti (z angl. <i>body mass index</i>)
CNS	centrální nervový systém
CR-10	kategoriální poměrová škála, 10bodová verze (z angl. <i>category-ratio scale, 10-point version</i>)
CSA	plocha průřezu (z angl. <i>cross-sectional area</i>)
CV	rychlost vedení signálu (z angl. <i>conduction velocity</i>)
DNA	deoxyribonukleová kyselina (z angl. <i>deoxyribonucleic acid</i>)
DSD	poruchy sexuálního vývoje (z angl. <i>disorders of sex development</i>)
EMG	elektromyografie
FAT/CD36	translokáza mastných kyselin (z angl. <i>fatty acid translocase/CD36</i>)
FATP1	protein transportující mastné kyseliny 1 (z angl. <i>fatty acid transport protein 1</i>)
fMRI	funkční magnetická rezonance (z angl. <i>functional magnetic resonance imaging</i>)
H ⁺	vodíkový kation
H ₂ PO ₄ ⁻	dihydrogenfosforečnan
Ca ²⁺	vápenatý kation
HR	srdeční frekvence (z angl. <i>heart rate</i>)
HRV	variabilita srdeční frekvence (z angl. <i>heart rate variability</i>)
IAP	intracelulární akční potenciál
LG	vnější hlava trojhlavého lýtkového svalu (z angl. <i>lateral gastrocnemius</i>)
LPL	lipoproteinová lipáza (z angl. <i>lipoprotein lipase</i>)
m.	sval (z lat. <i>musculus</i>)
MAP	střední arteriální tlak (z angl. <i>mean arterial pressure</i>)
MDF	medián frekvence
MEP	motorický evokovaný potenciál (z angl. <i>motor evoked potential</i>)
mRNA	messengerová RNA (z angl. <i>messenger ribonucleic acid</i>)

MSD	muskuloskeletální poruchy (z angl. <i>musculoskeletal disorders</i>)
MSNA	svalová sympatická nervová aktivita (z angl. <i>muscle sympathetic nerve activity</i>)
MVC	maximální volní kontrakce (z angl. <i>maximal voluntary contraction</i>)
RNA	ribonukleová kyselina (z angl. <i>ribonucleic acid</i>)
ROF	škála únavy (z angl. <i>rating-of-fatigue</i>)
ROS	reaktivní formy kyslíku (z angl. <i>reactive oxygen species</i>)
RPD	škála vnímaného diskomfortu (z angl. <i>rate of perceived discomfort</i>)
RPE	škála vnímaného úsilí (z angl. <i>rate of perceived exertion</i>)
RPF	škála vnímané únavy (z angl. <i>rate of perceived fatigue</i>)
RPP	produkt frekvence-tlak (z angl. <i>rate-pressure product</i>)
SAGER	rovnost pohlaví a genderu ve výzkumu (z angl. <i>Sex and Gender Equity in Research</i>)
sEMG	povrchová elektromyografie (z angl. <i>surface electromyography</i>)
SENIAM	povrchová elektromyografie pro neinvazivní vyšetření svalů (z angl. <i>Surface Electromyography for Non-Invasive Assessment of Muscles</i>)
SERCA	Ca ²⁺ -ATPáza sarko/endoplasmatického retikula (z angl. <i>Sarco/Endoplasmic Reticulum Calcium Ca²⁺-ATPase</i>)
SIT	síla superimponovaného záškubu (z angl. <i>superimposed twitch torque</i>)
SP	tichá perioda (z angl. <i>silent period</i>)
ST	sval pološlašitý (z angl. <i>semitendinosus</i>)
STAI	dotazník stavové a rysové úzkosti (z angl. <i>State-Trait Anxiety Inventory</i>)
TA	přední sval holenní (z angl. <i>tibialis anterior</i>)
TMS	transkraniální magnetická stimulace
TNF- α	tumor nekrotizující faktor alfa
TTF	čas do selhání (z angl. <i>time to task failure</i>)
VA	volní aktivace (z angl. <i>voluntary activation</i>)
VAS	vizuální analogová škála (z angl. <i>visual analog scale</i>)
VL	vnější hlava čtyřhlavého stehenního svalu (z angl. <i>vastus lateralis m. quadriceps femoris</i>)

1 Úvod

„Únava by se na první pohled mohla zdát jako nedokonalost našeho těla, opak je však pravdou – jedná se o jednu z jeho nejúžasnějších dokonalostí. Únava narůstající rychleji než množství vykonané práce, nás chrání před poškozením, kterému by se méně citlivý organismus jistě nevyhnul.“

A. Mosso (1846-1910)

Již více než před sto lety popsal italský fyziolog Angelo Mosso dva fenomény, které zpravidla doprovází únavu spojenou s fyzickou aktivitou – za první označil snížení svalové síly, druhým pak byla únava jakožto pocit. Tento koncept přetrvává dodnes a v průběhu mnoha dekad ho výzkumníci z různých koutů světa rozšiřovali a zdokonalovali – historicky pak popisujeme různé „typy“ únavy – centrální, periferní, supraspinální, mentální, kognitivní či například svalovou. Není překvapením, že u takto široké problematiky došlo postupem času k jakési „fragmentaci“ a ani odborná veřejnost se nevyhne určité míře zmatení, neboť orientace v publikovaných studiích není v důsledku pestré terminologie jednoduchá. Za tímto účelem pozorujeme v posledních letech snahy o zpřehlednění a zvýšení transparentnosti celého konceptu únavy jako takové. Tato práce se zabývá převážně únavou svalovou – dle novějších definic pak spíše „výkonnostní unavitelností“ (*performance fatigability*) či „motorickou výkonnostní únavou“ (*motor performance fatigue*). Klíčovou a neměnnou skutečností však zůstává, že se jedná o formu únavy, která doprovází zejména fyzickou zátěž a je objektivně měřitelná – např. snížením schopnosti svalu generovat sílu, časem do selhání anebo elektromyografickými či biochemickými změnami.

Zároveň bylo zjištěno, že za určitých podmínek pozorujeme ve svalové unavitelnosti rozdíly mezi muži a ženami. Tyto rozdíly jsou ovlivněny např. typem svalové kontrakce (statická či dynamická), její intenzitou, rychlostí (v případě dynamických kontrakcí) či zkoumáním specifických svalových skupin. Literatura v tomto případě favorizuje spíše ženy, které u některých svalů vykazují nižší svalovou unavitelnost než muži zejména během izometrických kontrakcí nízké intenzity, přičemž s narůstající intenzitou se pohlavní rozdíly většinou snižují. Existují také důkazy nasvědčující vyšší odezvě na současnou mentální zátěž u žen než u mužů, a to zejména pokud je mentální zátěž

přítomna při výše zmíněných izometrických kontrakcích nízké intenzity – u kontrakcí střední a vyšší intenzity však výzkumy chybí.

Z praktického hlediska jsou tato zjištění významná zejména v kontextu rozvoje muskuloskeletálních poruch, jejichž rizika vzniku velmi úzce souvisí s pracovními úkony, kterým se nevyhne celá řada profesí – jedná se především o kombinaci fyzické a mentální zátěže různé náročnosti. Podstatné také je, že u muskuloskeletálních poruch obecně pozorujeme vyšší prevalenci u žen než u mužů, což ještě přidává tomuto tématu na důležitosti. Zároveň je obrovským problémem historických i současných fyziologických studií je v rámci výzkumných souborů větší zastoupení mužského pohlaví, případně nezahrnutí pohlaví jakožto biologické proměnné vůbec.

Cílem této disertační práce je zjistit, zda má mentální zátěž během izometrické kontrakce do selhání m. biceps brachii nedominantní horní končetiny o střední intenzitě větší vliv na svalovou unavitelnost u žen než u mužů. Poznatky získané studiem vlivu mentální zátěže na svalovou unavitelnost se zřetelem na pohlaví mohou přispět k pochopení mechanismů, které se na pohlavních rozdílech podílí a současně za určitých podmínek odhalit případnou náchylnost k rychlejšímu rozvoji svalové únavy u jednoho či druhého pohlaví, neboť svalová únava je jistě jedním z faktorů podílejícím se na rozvoji muskuloskeletálních poruch.

2 Teoretická východiska

2.1 Únava

2.1.1 Definice a vymezení pojmu

Schopnost vykonávat motorické a kognitivní úkony je v životě člověka nezbytná během celé řady každodenních činností. Únava je typicky pojem zastřešující (*umbrella term*) a sumarizující celé množství psychofyziologických procesů, jež nutně doprovází motorickou či kognitivní aktivitu nad rámec určité intenzity či doby trvání a může se tak stát jejím limitujícím faktorem (Enoka & Duchateau, 2008; Kluger et al., 2013; Enoka & Duchateau, 2016).

Historicky byla únava zkoumána napříč různými obory – např. medicína, neurovědy, zátěžová fyziologie nebo psychologie, přičemž každý z těchto oborů pohlížel na únavu aspektem subjektivním (tedy jak daný jedinec únavu vnímá) či objektivním, tj. sledováním změn motorické či kognitivní výkonnosti. Na základě této skutečnosti pak byl pojem únava definován různými způsoby a jeho užívání bylo a stále je značně různorodé, což výrazně omezuje vhled do psychofyziologických procesů s ní spojených a přímo tak ztěžuje vývoj efektivních intervencí, které jsou klíčové pro zvýšení výkonnosti jedince i léčbu osob trpících jejími negativními důsledky (Behrens et al., 2023; Enoka & Duchateau, 2016; Enoka & Duchateau, 2008).

2.1.2 Taxonomie únavy

Za účelem vyřešení nejasností spojených s pojmem únava publikovali Enoka a Duchateau (2016) článek, kde únavu definují jako „daným jedincem hlášený (*self-reported*) symptom limitující fyzické a kognitivní funkce v důsledku interakcí mezi výkonnostní únavou (*performance fatigability*), tedy objektivní snížení měřené výkonnosti, a vnímanou únavou (*perceived fatigability*)“. Tento předkládaný model však nezohledňuje zejména snížení kognitivní výkonnosti, které nebylo dostatečně taxonomicky zařazeno a také nebyly diskutovány na něm se podílející mechanismy. Navíc, snížení výkonnosti (motorické či kognitivní) může nastat i bez zvýšení vnímání únavy jedincem, což bylo v definici Enoky a Duchateau (2016) rovněž opomenuto. Tyto nedostatky byly zohledněny v práci autorů Behrens et al. (2023), kteří z hlediska taxonomie doplnili pojmy kognitivní výkonnostní únava (*cognitive performance fatigue*) a vnímaná kognitivní únava (*perceived cognitive fatigue*) a zohlednili determinanty, které Enoka a Duchateau

nepopsali, tj. vnímání úsilí (*effort perception*), vnímání času (*time perception*) a sebe-regulace (*self-regulation*).

2.1.2.1 Motorická výkonnostní únava

Motorická výkonnostní únava (*motor performance fatigue*) bývá tradičně označovaná jako únava svalová či nervosvalová. Objektivizovat ji lze např. jako snížení maximální volní síly, kterou jedinec dokáže vyvinout. V závislosti na charakteristice dané motorické aktivity (intenzita, doba trvání) a na dalších faktorech (věk, pohlaví, fyzická zdatnost či choroby, kterými jedinec trpí) se mezi mechanismy podílející se na rozvoji motorické výkonnostní únavy řadí změny na různých úrovních nervosvalového systému, které se podílí na produkce svalové síly, a tedy i pohybu. Patří sem zejména:

- 1) excitabilita motorického kortexu
- 2) sestupný kortikospinální přenos akčních potenciálů
- 3) excitabilita míšních alfa-motoneuronů
- 4) nervosvalový přenos
- 5) excitabilita sarkolemmy
- 6) šíření akčního potenciálu v transversálním tubulárním systému
- 7) kinetika intracelulárních vápenatých iontů (Ca^{2+})
- 8) produkce síly v rámci tvorby příčných můstků (Behrens et al., 2023; Enoka & Duchateau, 2016; Gandevia, 2001; Allen et al., 2008; Cheng et al., 2018).

Intenzivní fyzická zátěž může tyto procesy alterovat, což může v důsledku vyústit ve snížení fyzické výkonnosti. Abychom zjistili, kde v nervosvalovém systému dochází k těmto změnám, bylo zavedeno rozlišování nervových (centrálních) a svalových (periferních) determinantů motorické výkonnostní únavy – odtud pak logicky vycházíme při dělení únavy na tzv. centrální a periferní. Nervové determinanty zahrnují mechanismy spojené se svalovou aktivací (často spojovanou s pojmem centrální únava), která je během fyzické aktivity proměnlivá. Nervosvalové změny vyvolané cvičením vedou ke specifickým adaptacím ve frekvenci pálení (*firing frequency*) a/nebo náboru (*recruitment*) motorických jednotek. V této souvislosti se mezi další popisované faktory řadí modulace vnitřních vlastností motoneuronů, zvýšení inhibiční aferentní zpětné vazby ze svalových aferentů skupiny III a IV, snížení facilitační aferentní zpětné vazby a změny v neuromodulátorech (Behrens et al., 2023; Taylor et al., 2016). Během motorické aktivity se také

mohou měnit aktivační vzorce synergistů a antagonistů, což může mít negativní dopad na svalovou koordinaci (*intermuscular coordination*) a tím pádem i na produkci síly (Behrens et al., 2023; Gagnon et al., 1992; Ebenbichler et al., 1998).

Vedle výše popsaných nervových determinantů se na vzniku motorické výkonnostní únavy mohou podílet také změny v kontraktilní funkci svalů – periferní determinanty, což majoritně závisí především na prokrvení daného svalu a jeho metabolismu. Jedná se například o zvýšenou akumulaci metabolitů (např. anorganický fosfát, reaktivní formy kyslíku, vodíkové ionty) při zvýšené fyzické zátěži vedoucí k narušení kontraktilní funkce svalu. Za fyziologických podmínek se zdá, že největší podíl na snížení kontraktilní funkce svalu má anorganický fosfát, přičemž reaktivní formy kyslíku se pravděpodobně podílí na prodlouženém snížení síly (*prolonged force depression*) po cvičení (Behrens et al., 2023; Allen et al., 2011; Westerblad, 2016). Hlavními faktory určujícími snížení kontraktilní funkce, a tedy kontraktilní síly svalů, jsou snížení excitability sarkolemy, snížení vylučování Ca^{2+} ze sarkoplasmatického retikula, snížení myofibrilární Ca^{2+} senzitivity a snížení schopnosti generování síly příčnými můstky jako takovými (Behrens et al., 2023; Enoka & Duchateau, 2016; Gandevia, 2001; Cheng et al., 2018; Hunter, 2018). Snížení svalové aktivace a/nebo kontraktilní funkce svalů během a po cvičení je ovlivňováno také změnami vnitřního prostředí jako hypertermie, hypoxie, či hypoglykemie (Behrens et al., 2023).

V případě užití tradiční terminologie by se tato disertační práce zaměřovala na tzv. únavu svalovou, což je tradičně používaný pojem v experimentech, které jsou této práci tématem podobné. Z důvodu transparentnosti a možnosti komparace studií na toto téma zachováme místo pojmu „motorická výkonnostní únava“ užití pojmu „svalová únava“ pro tento konkrétní typ únavy a užíván bude také termín „svalová unavitelnost“, který označuje jedince více motoricky výkonnostně unavitelné.

2.1.2.2 Vnímaná motorická únava

Vnímaná motorická únava (*perceived motor fatigue*) znamená zvýšení subjektivního vnímání únavy vznikající při fyzické aktivitě, která může ovlivnit fyzickou výkonnost. Často bývá definována jako pocit únavy, opotřebení, nedostatku energie, vyčerpání, ale také jako pocit potřeby odpočinku nebo nesoulad mezi vynaloženým úsilím a skutečnou výkonností (Venhorst et al., 2018; Micklewright et al., 2017).

Bez ohledu na definici je podstata a míra vnímané motorické únavy závislá na psychofyziologickém stavu jedince, který ovlivňuje percepční, afektivní a kognitivní procesy během cvičení. Nadměrná fyzická aktivita vyústí ve snížení kontraktilní funkce svalu, proto bude pro udržení žádané svalové síly nutný zvýšený signál svalové aktivace (*muscle activation signal*), což je spojené se zvýšením vnímaného úsilí (Cheng et al., 2018; Pageaux, 2016). S nadměrnou fyzickou aktivitou je také spojena vyšší dechová frekvence, tělesná teplota a zvýšená akumulace metabolitů, což má za následek zvýšení bolesti a diskomfortu vyvolaného cvičením (*exercise-induced pain and discomfort*). Tyto vnímané odezvy na cvičení způsobí, že daný jedinec se cítí průběžně stále hůř a jsou vyžadovány regulační kognitivní procesy (*regulatory cognitive processes*) za účelem vyhnutí se zpomalení či zastavení motorické aktivity (Venhorst et al., 2018; Mauger, 2013; Behrens et al., 2023).

Venhorst et al. (2018) představil trojdimenzionální model k lepšímu pochopení vnímané motorické únavy, díky kterému lze jednotlivé psychofyziologické determinanty zařadit do tří skupin – 1) percepčně-diskriminační (*perceptual-discriminatory*) 2) afektivně-motivační (*affective-motivational*) a 3) kognitivně-evaluační (*cognitive-evaluative*), přičemž tyto tři kategorie jsou vzájemně provázané.

Percepčně-diskriminační dimenze vnímané motorické únavy

Vnímané odezvy na motorickou aktivitu řadíme do percepčně-diskriminační dimenze. Patří sem vnímání úsilí (*effort perception*) a vnímání bolesti/diskomfortu (*pain/discomfort perception*) – obě tyto komponenty mohou ovlivnit vnímanou motorickou únavu (Behrens et al., 2023).

Afektivně-motivační dimenze vnímané motorické únavy

Intenzita vjemů během motorické aktivity (tedy intenzita determinantů v percepčně-diskriminační dimenzi) ovlivňuje afektivně-motivační dimenzi – konkrétně tedy afektivní stav a motivaci jedince. Afektivní stav zrcadlí afektivní valence (jak se dotyčný/á obecně cítí – např. v rozmezí „velmi dobře“ do „velmi špatně“) a míra nabuzení (*arousal*) dané osoby (Behrens et al., 2023).

Kognitivně-evaluační dimenze vnímané motorické únavy

Změny v percepčně-diskriminační a afektivně-motivační dimenzi ovlivňují procesy v kognitivně-evaluační dimenzi – seberegulaci (*self-regulation*), což v praxi znamená synchronizaci myšlení a chování za účelem dosažení cíle. V kontextu fyzické aktivity daný jedinec kontinuálně sebe-reguluje různé afektivní stavy vyvolané různými vjemy (vnímání úsilí, vnímaná bolest), myšlenkami (spojené např. s ukončením aktivity či rozptýlením) či chováním (ukončení aktivity nebo naopak zvýšení úsilí) – vše výše zmíněné má dopady na fyzickou výkonnost jedince, a to společně s náladou, očekáváním, přítomností feedbacku či vnímáním času (Behrens et al., 2023).

2.1.2.3 Kognitivní výkonnostní únava

Kognitivní výkonnostní únava bývá také nazývána objektivní kognitivní únavou (*objective cognitive fatigue*). Představuje důsledek déletrvající a/nebo intenzivní kognitivní aktivity a může být objektivizována jako snížení objektivní kognitivní výkonnosti během a/nebo po kognitivní aktivitě, a to např. jako změna reakčního času, její variabilita, a/nebo přesnost (Behrens et al., 2023; Tommasin et al., 2020; Genova et al., 2013; Wang et al., 2014). Vznik a míra kognitivní výkonnostní únavy jsou závislé na charakteru kognitivní aktivity (typ, doba trvání, náročnost) a subjektivních faktorech, tj. např. věk nebo pohlaví (Behrens et al., 2023).

Psychofyzilogické procesy spojené s kognitivní výkonnostní únavou jsou stále předmětem diskuzí a zahrnují například změnu funkce mozku (*altered brain function*), ztrátu motivace nebo snížení pozornosti (Behrens et al., 2023; Müller, 2019; Gergelyfi et al., 2021; Helambang et al., 2019).

2.1.2.4 Vnímaná kognitivní únava

Vnímaná kognitivní únava byla tradičně označovaná jako subjektivní kognitivní únava nebo mentální únava (*mental fatigue*) a představuje zvýšení subjektivního vnímání únavy, která nastává během provádění setrvalé a/nebo intenzivní kognitivní aktivity. Popisuje se jako pocit únavy, slabosti nebo vyčerpání, ale také jako nechuť pokračovat v aktuální činnosti nebo jako pocit potřeby odpočinku (Behrens et al., 2023).

Jedním z nejdůležitějších faktorů podílejícím se na rozvoji vnímané kognitivní únavy je úsilí investované do dané aktivity, přičemž vnímaná kognitivní únava by mohla

sloužit jako mechanismus, který by zastavil či změnil aktuální chování v momentě, kdy by se zdálo, že již dále nebude pro jedince prospěšné (Behrens et al., 2023; Crewe et al., 2008; Tucker, 2009; Müller, 2019).

2.1.3 Možnosti objektivizace svalové únavy

Během nástupu svalové únavy dochází k mnoha biologickým změnám – zvýší se například koncentrace metabolitů, mění se rychlost vedení signálu nervem (*conduction velocity*) a mění se počet aktivních motorických jednotek (Adam & De Luca, 2005). Sledování těchto změn se často využívá pro zjištění míry svalové únavy (González-Izal et al., 2012). Mezi širokou škálu nástrojů využívaných k objektivizaci různých typů únavy (tedy i únavy svalové) patří například hojně využívaný čas do selhání (*time to task failure*) či pokles svalové síly (Gandevia, 2001; Keller-Ross et al., 2014; Yoon et al., 2009; Zagatto et al., 2025). Další vybrané ukazatele budou v následujících odstavcích detailněji rozebrány.

2.1.3.1 Biomarkery

V klinické praxi se pro objektivizaci svalové únavy často využívají biologické indikátory (biomarkery) (Li et al., 2020). Biomarker je měřitelná látka v organismu, kterou lze využít jako indikátor probíhajícího fyziologického či patologického procesu. Z hlediska kvantifikace míry svalové únavy se používají biomarkery ATP metabolismu (laktát, amoniak), biomarkery oxidativního stresu (např. glutathion, glutathion peroxidáza, karbonylované proteiny, aj.) a zánětlivé biomarkery (leukocyty, interleukin-6, TNF- α) (Finsterer, 2012). Nevýhodou měření svalové únavy pomocí biomarkerů je nutnost invazivního zásahu do organismu (Li et al., 2020).

Za původce svalové únavy byla dříve považována intracelulární acidóza, nicméně dnešní literatura uvádí důvodů vícero. První ze dvou nejdůležitějších mechanismů svalové únavy zůstává již zmíněná intracelulární acidóza, spolu s nedostatkem adenosintrifosfátu (ATP) – jejichž míru odráží biomarkery laktát, amoniak a oxipuriny. Vliv nedostatku ATP na svalovou únavu je však stále předmětem diskusí. I malé snížení pH narušuje tvorbu příčných můstků (*cross-bridge binding*) a také alteruje aktivitu enzymu ATPázy. Zvýšená koncentrace laktátu v séru ukazuje, že aerobní produkce ATP je pro zásobení svalu nedostatečná a musí být doplněna produkcí anaerobní. Zda je za produkci

laktátu zodpovědná anaerobní glykolýza pouze v případě nedostatku kyslíku je předmětem diskusí. Koncentrace laktátu v séru stoupá s intenzitou zátěže, nicméně nezdá se, že by byla závislá na věku, pohlaví a fyzické zdatnosti. Laktát je považován za slibný biomarker reflektující svalovou únavu (Brooks, 2020; Finsterer, 2012; Wan et al., 2017). Druhým mechanismem je nadprodukce ROS – reaktivních forem kyslíku (*reactive oxygen species*) neboli kyslíkových radikálů, které měříme například pomocí biomarkerů peroxidace lipidů, peroxidace proteinů a biomarkerů antioxidační kapacity. Mezi další mechanismy vzniku svalové únavy řadíme také lokální zánětlivé reakce, které jsou měřitelné zánětlivými biomarkery. Svalovou únavu rovněž odráží zvýšená aktivita genů, které se účastní kteréhokoliv z výše zmíněných procesů (Brooks, 2020; Finsterer, 2012; Poole et al., 2021).

2.1.3.2 Subjektivní škály

Pomocí subjektivních škál lze objektivizovat svalovou únavu. Škála vnímaného úsilí (*rate of perceived exertion*) či diskomfortu (*rate of perceived discomfort*) je jednoduchá nepřímá metoda schopna hodnotit míru svalové únavy ve pracovních, sportovních či rehabilitačních podmínkách. V obou případech se jedná o modifikaci Borgovy škály CR-10 (Whittaker et al., 2019). Mezi subjektivními škálami hodnotící úsilí (RPE) či diskomfort (RPD) – a tedy nástroji hodnotícími motorickou vnímanou únavu – a objektivními ukazateli svalové únavy byla sledována střední až silná korelace (Frey Law et al., 2010, Rashedi & Nussbaum, 2016; Rose et al., 2014).

Micklewright et al. (2017) popsali škálu vnímané únavy (*rate of perceived fatigue*, někdy označována také jako *rating-of-fatigue*) – validovaný dotazník vytvořený modifikací Borgovy škály CR-10. Tato škála nabývá hodnot od 0 (žádná únava) do 10 (absolutní únava a vyčerpání – neschopnost pokračovat). U této škály byla sledována silná korelace s objektivními ukazateli svalové únavy – koncentrace laktátu v krvi, spotřeba kyslíku, tvorba CO₂). Limitací jejich práce byla absence korelace RPF a svalové únavy jednotlivých svalů (měřitelné např. pomocí EMG), což pak doplnili autoři Whittaker et al. (2019), kteří sledovali korelaci i u těchto parametrů.

2.1.3.3 Povrchová elektromyografie

Snímání elektrické aktivity svalu pomocí povrchové elektromyografie (sEMG) je užitečným, neinvazivním nástrojem k objektivizaci svalové únavy. Historie využití sEMG v souvislosti se svalovou únavou se datuje od roku 1912, kdy Piper pozoroval během izometrické kontrakce postupné „zpomalování“ snímaného signálu. Elektromyografický signál u povrchové elektromyografie je ovlivňován několika externími faktory, které formují jeho výslednou podobu. Jedná se zejména o charakteristiku tkáně (její tloušťka, teplota a fyziologické vlastnosti), tzv. přeslech (*crosstalk*), což je interference signálu měřeného svalu a okolních svalů (většinou dosahuje cca 10-15 %), změnu vzdálenosti mezi zdrojem signálu a umístěním elektrody (problém zejména u studií s dynamickým pohybem), vnější rušení (elektricky rušivé prostředí, např. nesprávným uzemněním okolních elektrických zařízení), ale také stáří/kondice elektromyografického zařízení (Enoka & Duchateau, 2016; Gandevia, 2001; González-Izal et al., 2012; Izzo et al., 1990).

Důležitou roli hraje také typ svalové kontrakce, kdy izometrická je pro měření jednodušší, neboť úhel v okolních kloubech zůstává stejný a nedochází tak k posunu měkkých tkání během měření. U dynamické kontrakce dochází kromě posunu měkkých tkání také k rychlým změnám vykonávané svalové síly a počtu aktivních motorických jednotek (Konrad, 2005; González-Izal et al., 2012).

Pomocí různých technik lze během nástupu svalové únavy z elektromyografického signálu odečítat specifické parametry založené např. na amplitudě signálu (*amplitude-based parameters*), spektrální analýze (*spectral analysis*), technikách čas-frekvence (*time-frequency techniques*) anebo parametry nelineární (*non-linear parameters*). Při kontrakci se zvyšuje amplituda signálu díky postupnému náboru motorických jednotek ve svalu, kdežto frekvenční parametry (např. průměr či medián) se s délkou kontrakce snižují (González-Izal et al., 2012). V kontextu svalové únavy lze elektromyografický signál zpracovat frekvenční analýzou pomocí technik založených na Fourierově transformaci. Takto lze získat například medián frekvence (*median frequency*) či Dimitrovův spektrální index únavy (González-Izal et al., 2012). Medián frekvence je často využíván pro objektivizaci svalové únavy pomocí sEMG (Cifrek et al., 2009; Al-Mulla et al., 2011).

Mimo zmíněné externí faktory v předchozích odstavcích je při využívání povrchové elektromyografie nutné dbát na dodržení zásad aplikace elektrod s cílem získat relevantní výsledky, mezi základní zásady patří:

- a) použití vlhkých gelových elektrod,
- b) použití malých elektrod s cílem zamezit přeslechu a zvýšit impedanci,
- c) využít nejbližší možné uložení elektrod s cílem zvýšit selektivitu,
- d) aplikovat elektrody paralelně ke směru svalových vláken,
- e) aplikovat na nejvíce dominantní porci svalového břicha ve středu svalu,
- f) neaplikovat na oblast motorických bodů (většinou nelze zamezit),
- g) u dynamických studií zajistit, aby elektroda byla stále na svalovém břichu,
- h) aplikovat elektrody na jednotlivé svaly dle standardů (např. SENIAM).

2.2 Pohlavní rozdíly

Pohlaví (*sex*) jako biologická proměnná je podceňovaným aspektem biomedicínského výzkumu, přestože pozorujeme rozdíly mezi pohlavími u lidí i u zvířat – a to zejména u kardiovaskulárního, muskuloskeletálního, respiračního a nervového systému (Hunter et al., 2023; Joyner, 2017; Schiebinger et al., 2016). Odlišnosti v anatomických a fyziologických systémech se přímo podílí na pohlavních rozdílech nejen ve výkonnosti široké škály jedinců od elitních sportovců až po chronicky nemocné (Hunter et al., 2023; Senefeld et al., 2023). V posledních letech se zastoupení žen ve výzkumných souborech zvýšilo, neboť samotné grantové instituce (Evropská komise, Národní institut zdraví v USA apod.) zdůrazňují realizaci studií založených na pohlaví a genderu (Arnegard et al., 2020; Schiebinger et al., 2016; Vanden Noven et al., 2023). Relativní zastoupení žen ve výzkumných souborech se zvýšilo z 22 % v roce 1991 na 36 % v roce 2021 (James et al., 2023). Za hlavní důvody nižšího zastoupení žen ve výzkumných souborech napříč biomedicínským výzkumem se označují zejména pohlavní rozdíly v ochotě participovat ve výzkumných studiích (*volunteer bias*) či pohlaví a genderu členů výzkumných týmů (*investigator bias*) (Nuzzo et al., 2024; James et al., 2023).

2.2.1 Pohlaví a gender

Pohlaví a gender bývají často považována za synonyma, ale jedná se o dva odlišné (byť provázané) pojmy (Stefanick & Schiebinger, 2020). Zejména v důsledku rostoucího

zájmu o inkluzi, diverzitu a reprezentativnost jsou tyto dva pojmy předmětem mnoha diskuzí (Rioux et al., 2022). Pohlaví představuje soubor biologických vlastností, kdy každý člověk, zvíře, tkáň či buňka má pohlaví definované přítomností chromozomů XX (samice – *female*) či XY (samec – *male*) (Miller et al., 2012; Short et al., 2013, Raele et al. 2023). Přestože je pohlaví považováno za binární (samec či samice), existují variace pohlavních chromozomů označované jako poruchy sexuálního vývoje (*disorders of sex development*) (Grimstad et al., 2021). Gender představuje multidimenzionální konstrukt, který zahrnuje genderovou identitu a vlastní vyjádření (*expression*), sociální a kulturní okolnosti aj. Gender si určuje každý jedinec sám, může se během života měnit a současně může a nemusí odpovídat očekáváním příslušné společnosti, která jsou založená na biologických pohlavních znacích (Miller et al., 2012; Short et al., 2013). Výzkumy zabývající se vlivem genderu na výkonnost člověka jsou omezené a např. u běžeckých výkonů slouží pohlaví jako lepší prediktor běžeckých výkonů než gender (Armstrong et al., 2023), přesto však není vliv genderu na výkon a zdraví člověka dostatečně zkoumán, což může představovat příležitost pro budoucí výzkumné práce (Harper et al., 2021; Nokoff et al., 2023). Zároveň je v budoucích výzkumech žádoucí jasná definice pohlaví a genderu sledovaných skupin anebo využití nástrojů pro tyto účely vytvořených, např. SAGER guidelines navržené autory Heidari et al. (2016).

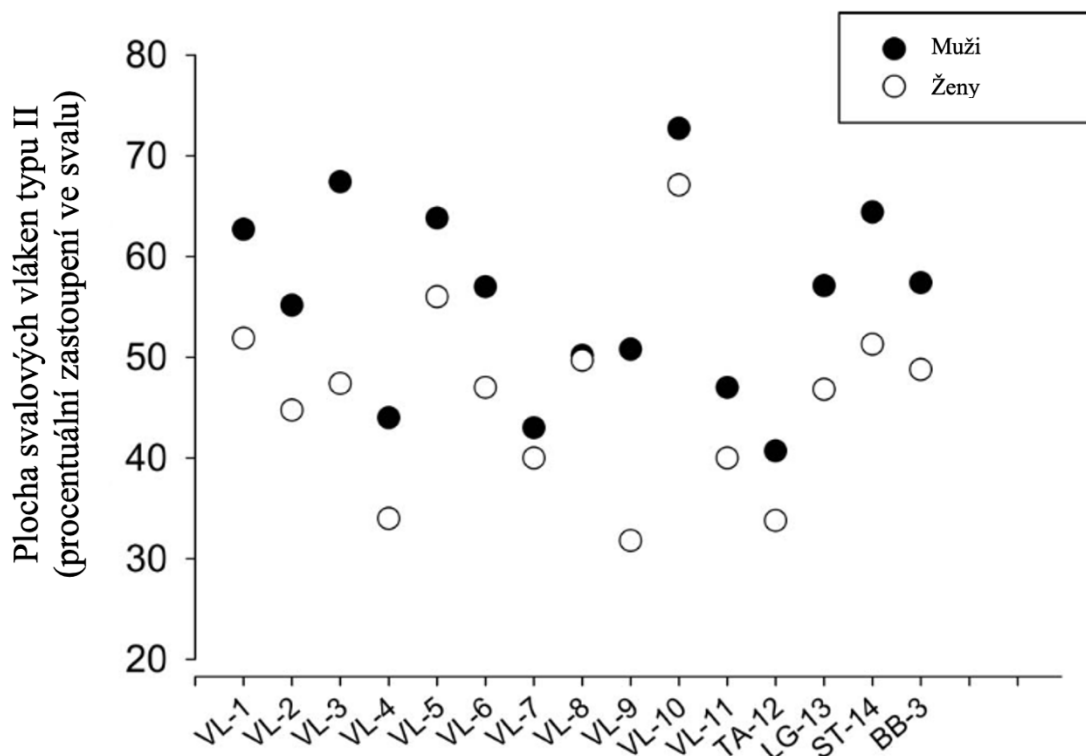
Tato práce je zaměřena na zkoumání rozdílů mezi pohlavími a zkoumání budou lidí, bude tedy používána terminologie žena (samice) a muž (samec).

2.2.2 Pohlavní rozdíly u m. biceps brachii

Dvouhlavý sval pažní (m. biceps brachii) se často využívá pro studium svalové únavy (Hunter et al., 2014), a to i v kontextu kombinace fyzické a mentální zátěže (Yoon et al., 2009; Keller-Ross et al., 2014). Pro studii, která je součástí této disertační práce, byl m. biceps brachii zvolen zejména z důvodu jeho snadné dostupnosti z hlediska povrchové elektromyografie a následné porovnatelnosti výsledků s předchozími studiemi s podobnou metodikou. Metodika hodnocení mediánu EMG signálu i změny frekvenčního spektra během izometrické kontrakce byly na tomto svalu historicky mnohokrát zkoumány (Roy & De Luca, 1989; Basmajian & De Luca, 1985). Pro výsledky této práce jsou podstatné zejména pohlavní rozdíly v anatomické a histologické variabilitě m. bicepsu brachii.

Anatomické variabilitě m. biceps brachii se věnuje celá řada studií a tento sval bývá označován jako jeden z nejvariabilnějších svalů lidského těla (Nayak et al., 2006; Avadhani & Chakravarthi, 2012; Benes et al., 2022). Dle některých prací může mít od dvou do sedmi hlav (Asvat et al., 1993; Nakatani et al., 1998), nicméně na základě historických dat vidíme postupný pokles variability, pravděpodobně v důsledku evolučních změn (Benes et al., 2022). Variabilita v tomto případě hraje roli v diagnostice zejména traumatologické (Gupta et al., 2020), neurologické (Al-Kushi, 2013) či rehabilitační (Dierickx et al., 2009). Stran pohlavních rozdílů ve variabilitě je obecně přítomnost přídatných hlav (*accessory heads*) vyšší u mužů než u žen (10.2 % vs. 7.3 %), a to v závislosti na dané populaci – u mužů tomu tak bylo v rámci africké, asijské, evropské a jihoamerické populace, kdežto vyšší prevalence přídatných hlav u žen byla pozorována pouze u severoamerické populace. Celková prevalence přídatných hlav bez ohledu na pohlaví a populaci byla na levé paži 3.2 %, u pravé paže pak 3.4 %, přičemž častěji je nález jednostranný (Benes et al., 2022; Neto et al., 1998; Kopuz et al., 2009; Ilayperuma et al., 2011).

Z hlediska histologického je pro naše účely důležité zejména procentuální zastoupení plochy jednotlivých typů svalových vláken v rámci daného svalu. Nejčastěji zkoumaným svaem je pro svou dobrou dostupnost vastus lateralis m. quadriceps femoris, následován m. biceps brachii, m. gastrocnemius a m. tibialis anterior, přičemž u žen bylo procentuálně vyšší zastoupení svalových vláken typu I (resp. nižší procentuální zastoupení vláken typu II) pozorováno u vastus lateralis m. quadriceps femoris, m. biceps brachii, m. tibialis anterior, m. semitendinosus a vnější hlavy m. gastrocnemius (viz Obrázek 1) (Nuzzo, 2023; Hunter et al., 2023).



Obrázek 1. Procentuální zastoupení plochy svalových vláken typu II v kosterních svalech u mužů a u žen. Výsledky byly stanoveny na základě histochemické analýzy svalové biopsie u celkem 14 studií prováděných na vastus lateralis m. quadriceps femoris (VL), tibialis anterior (TA), vnější hlava m. gastrocnemius (LG), m. semitendinosus (ST) a m. biceps brachii (BB). U mužů pozorujeme vyšší procentuální zastoupení plochy svalových vláken typu II než u žen, a tedy u žen vyšší procentuální zastoupení plochy svalových vláken typu I než u mužů. Na ose x vidíme označení svalu (VL, TA, LG, ST, BB) a za ním číslo studie (1-14), které koresponduje s referenčním seznamem této práce takto: VL-1 (Simoneau et al., 1985), VL-2 (Simoneau & Bouchard, 1989), VL-3 a BB-3 (Miller et al., 1993), VL-4 (Esbjornsson-Liljedahl et al., 1999), VL-5 (Staron et al., 2000), VL-6 (Carter et al., 2001), VL-7 (Esbjornsson-Liljedahl et al., 2002), VL-8 (Toft et al., 2003), VL-9 (Roepstorff et al., 2006), VL-10 (Maher et al., 2009), VL-11 (Esbjornsson et al., 2012), TA-12 (Porter et al., 2002), LG-13 (Larsson et al., 2006), ST-14 (Fournier et al., 2022) (Hunter, 2023 – převzato a upraveno).

2.2.3 Pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti

Primární mechanismy podílející se na svalové únavě jsou spojené s oblastí nervosvalového systému, která je za daných podmínek nejvíce zatížena (Enoka, 1992) – mluvíme o tzv. místě únavy (*site of fatigue*), přičemž dílčí funkční i morfologické odlišnosti mezi pohlavími mají ve svém důsledku vliv na výslednou podobou pohlavních

rozdílů ve svalové unavitelnosti. V laboratorních podmínkách nejčastěji probíhá výzkum pohlavních rozdílů ve svalové unavitelnosti za využití statických či dynamických kontrakcí o stejné relativní intenzitě (procentuální hodnota maximální svalové síly, resp. maximální volní kontrakce) pro obě pohlaví a často se sleduje především čas do selhání (*time to task failure*) (Hunter et al., 2014). Pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti závisí na typu kontrakce, její intenzitě, rychlosti, konkrétním svalu, okolních podmínkách či míře nabuzení organismu (*state of arousal*) (Hunter et al., 2014, 2016a) – pro souhrn proměnných, které ovlivňují pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti viz Tabulka 1.

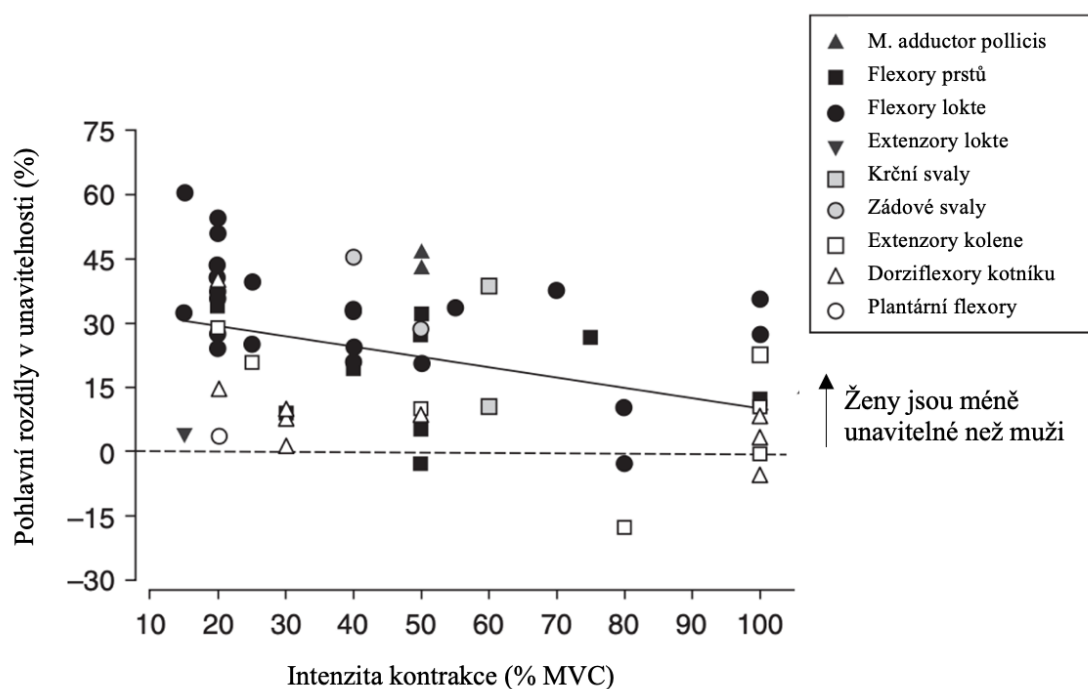
Proměnné	Unavitelnost	Příklady studií
Intenzita kontrakce (statická kontrakce)		
Nízká intenzita	M > Ž	Hunter & Enoka, 2001; Yoon et al., 2007; Keller et al. 2011
Nízká intenzita (stejně silná populace)	M = Ž	Hunter et al., 2004b, 2006b
Střední intenzita	M > Ž	Fulco et al., 1999; Hunter et al., 2004c, 2009
Vysoká intenzita	M > Ž	Russ & Kent-Braun 2003; Hunter et al. 2006a; Martin & Rattey, 2007
	M = Ž	Maughan et al., 1986; Yoon et al., 2007
Svalová skupina (statická kontrakce)		
M. adductor pollicis	M > Ž	Fulco et al., 1999
Flexory lokte	M > Ž	Hunter et al., 2004c; Avin et al., 2010; Keller et al., 2011
Flexory prstů (stisk ruky)	M > Ž	West et al., 1995; Hunter et al., 2006b
Extenzory lokte	M = Ž	Dearth et al., 2010
Flexory trupu	M = Ž	Deering et al., 2017
Extenzory trupu	M > Ž	Clark et al., 2003; Lariviere et al., 2006
Extenzory kolene	M > Ž	Clark et al., 2005
Dorziflexory kotníku	M > Ž	Russ & Kent-Braun, 2003
	M = Ž	Kent-Braun et al., 2002; Hunter et al., 2008; Avin et al., 2010
Rychlost kontrakce		
Pomalá koncentrická	M > Ž	Yoon et al., 2015
Středně rychlá koncentrická	M > Ž	Pincivero et al., 2003
Rychlá koncentrická	M = Ž	Senefeld et al., 2013
Pomalá až středně rychlá excentrická	M = Ž	Hubal et al., 2008; Lee et al., 2017
	M < Ž	Sewright et al., 2008; Power et al., 2013

Tabulka 1. Proměnné ovlivňující pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti. Zobrazeny jsou vybrané proměnné, které mají vliv na pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti. Pro důkladnější informace o vlivu mentální zátěže na pohlavní rozdíly viz kap. 2.3.1. Ve třetím sloupci jsou uvedeny příklady nalezených studií, jejichž výsledky jsou uvedeny v předchozím sloupci. M = muži; Ž = ženy. Znak „>“, „<“, „=“ označují, které z těchto dvou pohlaví bylo více unavitelné nebo zda byla unavitelnost u obou pohlaví stejná (Hunter, 2018 – převzato a upraveno).

2.2.3.1 Statická (izometrická) kontrakce

Nejčastějším typem statické kontrakce používané ve výzkumu svalové unavitelnosti je kontrakce izometrická. U těchto kontrakcí mohou být pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti velké, a to zejména v závislosti na sledované svalové skupině. Ženy jsou obecně méně unavitelné u izometrických a přerušovaných izometrických kontrakcí u flexorů lokte, flexorů prstů, adduktoru palce, extenzorů zad, extenzorů kolene a dýchacích svalů (Maughan et al., 1986; Fulco et al., 1999; Hunter & Enoka, 2001; Hunter et al., 2002, 2006b, 2009; Clark et al., 2003; Russ & Kent-Braun, 2003; Guenette et al., 2010), kdežto například u dorziflexorů kotníku jsou pohlavní rozdíly méně patrné (Kent-Braun et al., 2002; Hunter et al., 2008; Avin et al., 2010) a například u extenzorů lokte nebyly u statických kontrakcí pozorovány vůbec (Dearth et al., 2010) – pro grafické znázornění viz Obrázek 2. Za příčinu rozdílů mezi jednotlivými svaly se považuje odlišnost v kontraktilních vlastnostech, proporčním zastoupení typů svalových vláken a v prokrvení, přičemž u svalů s největšími pohlavními rozdíly v maximální síle sledujeme zároveň výraznější rozdíly ve svalové unavitelnosti. Pohlavní rozdíly se u některých svalů snižují s rostoucí intenzitou izometrické kontrakce (Hunter et al., 2014). Jednotlivé příčiny těchto rozdílů budou detailněji rozebrány v následujících kapitolách.

U studií se záměrným výběrem mužů a žen se stejnou silovou vybaveností (*strength-matched participants*) nepozorujeme u flexorů lokte při izometrické kontrakci žádné pohlavní rozdíly, kdežto u izometrických přerušovaných kontrakcí ženy vydržely téměř třikrát déle (Hunter et al., 2006b). Při porovnávání izometrických a izometrických přerušovaných kontrakcí je hlavním rozdílem odlišné prokrvení svalů během vykonávání dané aktivity, nicméně pro tyto aktivity nelze považovat sílu jako prediktor svalové unavitelnosti (Hunter et al., 2014).



Obrázek 2. Pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti u izometrických kontrakcí.

Zobrazena jsou data ze 46 studií zaměřených na izometrickou kontrakci (přerušovanou i kontinuální). Osa x představuje intenzitu kontrakce pro danou studii (vyjádřenou jako procento maximální volní kontrakce – MVC) a osa y reprezentuje míru pohlavních rozdílů v unavitelnosti (také v procentech). Graficky jsou znázorněny procentuální pohlavní rozdíly v unavitelnosti v jednotlivých studiích, přičemž průměrný rozdíl v unavitelnosti byl vždy vztažen k výsledkům žen – přerušovaná čára tedy představuje absenci pohlavních rozdílů, přičemž čím je na ose y znak odpovídající dané svalové skupině výše od přerušované čáry, tím méně byly ženy vůči mužům unavitelné. Většina znaků je nad přerušovanou čarou, což znamená, že ženy byly pro většinu svalových skupin méně unavitelné. Plná klesající čára představuje negativní vztah mezi relativní intenzitou kontrakce a mírou pohlavního rozdílu – čím vyšší intenzita kontrakce, tím menší pohlavní rozdíly (Hunter, 2018 – převzato a upraveno).

Ženy obvykle vykazují nižší svalovou unavitelnost u izometrických a pomalých dynamických kontrakcí napříč různými svalovými skupinami horních a dolních končetin (Ansdell et al., 2020; Hunter et al., 2014, 2018, 2024; Yoon et al., 2015). Pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti končetinových svalů jsou ovlivněny typem zátěže. Závisí například na rychlosti kontrakce, což bylo u dolní končetiny pozorováno u mladých

dospělých – s rychlostí kontrakce klesají pohlavní rozdíly. Nicméně například u starších dospělých a u svalů horní končetiny (m. biceps brachii) byly starší muži unavitelnější než starší ženy, a to u středně rychlých i rychlých dynamických kontrakcí (Hunter et al., 2016b; Lewis et al., 2022; Senefeld et al., 2018; Yoon et al., 2015).

2.2.3.2 Dynamická (koncentrická) kontrakce

U koncentrických kontrakcí není v oblasti pohlavních rozdílů ve svalové unavitelnosti k dispozici takové množství studií jako je tomu u izometrických, nicméně obecně pozorujeme u žen nižší svalovou unavitelnost anebo pohlavní rozdíly nepozorujeme vůbec (Clark, 2003; Hunter, 2016b; Senefeld et al., 2013). Pohlavní rozdíly i zde závisí na sledované svalové skupině, rychlosti a intenzitě kontrakce (Hunter, 2016a).

Například u třiceti maximálních koncentrických kontrakcí extenzorů a flexorů kolene o rychlosti 180 °/s byla u žen sledována nižší svalová unavitelnost než u mužů, což bylo ve studii vysvětleno vyšší počáteční silou mužů, neboť silnější probandi vykazovali vyšší svalovou unavitelnost (Pincivero et al., 2003) – k podobnému závěru přišli v nepublikovaných datech autoři Yoon & Hunter, kdy u žen zaznamenali nižší svalovou unavitelnost při zvedání a pokládání břemene do selhání (1 kontrakce každé 3 sekundy) o hmotnosti 20 % MVC (Hunter, 2014). Nižší svalová unavitelnost u žen byla pozorována taky po 50 maximálních koncentrických kontrakcích plantárních flexorů (Héberst-Losier & Holmberg, 2014).

Intenzita koncentrické kontrakce ovlivňuje pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti, protože při progresivním zvyšování zátěže z 50 na 90 % z maxima pro jedno opakování (*one repetition maximum – 1RM*) pohlavní rozdíly klesají (Maughan et al. 1986). Pohlavní rozdíly u tohoto typ kontrakce jsou závislé také na rychlosti kontrakce – navzdory nižší unavitelnosti u žen u extenzorů zad z hlediska času do selhání o intenzitě 50 % MVC nebyly pozorovány rozdíly v počtu provedených opakování (Clark et al., 2003). U koncentrických kontrakcí flexorů lokte a extenzorů kolene o intenzitě 20 % MVC po dobu 4.5 minuty nebyly po ukončení aktivity pozorovány pohlavní rozdíly ve snížení rychlosti, nicméně hodnoty MVC u extenzorů kolene byly po aktivitě u mužů významně nižší než u žen, kdežto u flexorů lokte rozdíly pozorovány nebyly (Senefeld et al., 2013). Vysvětlením těchto rozdílů může být méně příčných mýstků schopných

vyvinout větší sílu (*high-force cross-bridges*) a/nebo menší vyvinutá síla jednotlivými příčnými můstky (*less force per cross-bridge*) (Kent-Braun et al., 2012).

2.2.3.3 Dynamická (excentrická) kontrakce

Excentrická kontrakce dokáže vyvinout větší sílu ve svalovém vlákně, tudíž větší sílu svalu než izometrická či koncentrická kontrakce (Duchateau & Baudry, 2014). U maximálního momentu síly pozorujeme před únavovou aktivitou při stejné rychlosti výraznější pohlavní rozdíly u excentrických kontrakcí než u koncentrických, přičemž vysvětlení zatím nenacházíme (Hunter, 2014) – po opakovaných excentrických kontrakcích však pozorujeme vyšší snížení maximální síly u žen (Sewright et al., 2008) anebo nepozorujeme rozdíly žádné (Hubal et al., 2008; Power et al., 2010). Zároveň u excentrických kontrakcí byla pozorována před únavovou aktivitou nižší volní aktivace než u koncentrických, tentokrát však bez pohlavních rozdílů (Duchateau & Baldry, 2014; Spurway et al., 2000). U žen také pozorujeme u dorziflexorů kotníku pomalejší zotavení z hlediska maximální možné vyvinuté síly, a to po 150 maximálních excentrických kontrakcích o rychlosti 60 °/s (Power et al., 2013).

2.2.4 Příčiny pohlavních rozdílů ve svalové unavitelnosti

K existenci pohlavních rozdílů ve svalové unavitelnosti přispívají zejména fyziologické a anatomické rozdíly mezi muži a ženami, ale i faktory sociologické. V této kapitole budou postupně možné příčiny popsány.

2.2.4.1 Svalová hmota a silová vybavenost

Pro některé svalové skupiny a aktivity je charakteristická závislost svalové unavitelnosti na počáteční síle jedince (*initial strength*), kdy větší svalová síla může znamenat také větší unavitelnost (Hunter et al., 2014). Muži jsou obecně silnější než ženy, a to z důvodu větších kosterních svalů (potažmo většího průřezu svalových vláken), nikoliv většího množství svalových vláken – větší absolutní rozdíly ve velikosti svalu a větší síla vyvinutá během únavové aktivity (kontrakce) u mužů může mít výraznější mechanické a metabolické následky – nicméně nemusí tomu tak být u všech typů aktivit, neboť například u statických přerušovaných kontrakcí pozorujeme vyšší svalovou unavitelnost u mužů i v případě silově vyrovnaného (*strength-matched*) výzkumného

souboru (Miller et al., 1993; Welle et al., 2008; Hunter et al., 2004b; 2014).

Pohlavní rozdíly v maximální síle a výbušnosti jsou dány především odlišnou morfologií a kompozicí kosterních svalů (z čehož vyplývá rozdílná metabolická kapacita a kontraktilní vlastnosti), přičemž jednou z příčin těchto rozdílů může být pro každé pohlaví specifická exprese genů kosterního svalstva (Chapman et al., 2020; Landen et al., 2021a; Hunter et al., 2024). Maximální svalová síla je dána především plochou průřezu (*cross-sectional area*) svalu, která bývá u mužů větší a muži jsou tak v průměru silnější ve statických i dynamických kontrakcích. Větší plochu průřezu pozorujeme u mužů u všech typů svalových vláken, nejvýznamnější je však rozdíl u svalových vláken typu II (rychlých) – celý sval má tedy ve výsledku proporčně větší plochu tvořenou vlákny II typu, což mimo vyšší silové výkony dává mužům i vyšší rychlost kontrakce (neboť svalové vlákno typu II generuje více než dvojnásobnou rychlost a sílu než vlákno typu I). Přestože pozorujeme větší plochu průřezu u svalových vláken u mužů než u žen, svalová síla vyvinutá určitým průřezem (síla na jednotku průřezu) se mezi pohlavími zjevně neliší – vyšší svalová síla u mužů je tedy nejspíš zapříčiněna především celkovou větší plochou průřezu svalu, přičemž v absolutním počtu svalových vláken v daných svalech by se jednotlivá pohlaví lišit neměla (Grosicki et al., 2022; Hunter et al., 2024; Miller et al., 1993; Nuzzo, 2023, 2024; Hunter et al., 2018).

2.2.4.2 Prokrvení svalu

Snížení prokrvení svalu urychlí rozvoj svalové únavy a zkrátí čas do selhání (*time to task failure*), a to z důvodu nedostatečného zásobení svalu kyslíkem a zároveň hromaděním metabolitů narušujících kontraktilní funkci. Vliv prokrvení na pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti je specifický pro určité aktivity a určité svalové skupiny (Clark et al., 2005; Hunter et al., 2014; Parker et al., 2007; Thompson et al., 2007). Ženy mohou obecně mít u izometrické kontrakce o nízké intenzitě lepší prokrvení pracujících svalů než muži, a to díky nižší mechanické kompresi příslušných artérií (Hunter & Enoka, 2001). Podíl na pohlavních rozdílech může mít také sympatikem ovlivněná míra vazodilatace či u žen pozorovaná větší hustota kapilár ve svalech (Hunter et al., 2014).

Jak již bylo zmíněno výše, muži jsou obvykle silnější než ženy – to může mít také za následek větší omezení krevního průtoku, neboť během kontrakcí o procentuálně stejné intenzitě (např. určité procento MVC) způsobí větší silová vybavenost jedince větší

kompresní tlak na artérie zásobující sval krví. V případě, že byly ženy slabší než muži, byly zároveň při zkoumání flexorů lokte a flexorů ruky méně unavitelné, kdežto při záměrném výběru stejně silově vybaveného výzkumného souboru (*strength-matched*) pohlavní rozdíly v unavitelnosti vymizely (Hunter et al., 2004a, 2004b, 2006b, 2014).

Na svalovou práci má také vliv aktivita sympatiku, jejíž pohlavní rozdíly mohou ovlivnit svalovou unavitelnost – konkrétně se může jednat o klidovou aktivitu sympatiku, aktivitu sympatiku během kontrakce a míru vazodilatace modulovanou β_2 adregergními receptory. Tyto receptory jsou ve větší míře zastoupeny na svalových vláknech I typu než II, přičemž ženy mají obvykle vůči celkovému průřezu svalu větší procentuální zastoupení vláken I typu, a tedy lze během kontrakce předpokládat mohutnější vazodilataci. Výše zmíněné mechanismy nejsou zatím dostatečně vysvětleny, ale rovnováha mezi vazokonstrikcí a vazodilatací má vliv na celkové prokrvení svalu, a tedy na potenciální rozdíly ve svalové unavitelnosti (Roatta & Farina, 2010; Yoon et al., 2009). Výraznější vazodilatace artérií zásobujících kosterní svaly u žen může také vůči mužům snížit svalovou unavitelnost během dynamických kontrakcí – toto bylo pozorováno například u dynamických kontrakcí extenzorů kolen a zároveň tyto rozdíly nebyly ovlivněny počáteční silou probandů (Parker et al., 2007).

Prokrvení závisí také na celkové kapilarizaci daného svalu. U m. vastus lateralis byla z důvodu většího procentuálního zastoupení svalových vláken typu I pozorována větší hustota kapilár u ženských svalů (Roepstorff et al., 2006), což může u žen v důsledku znamenat vyšší prokrvení daných svalů než u mužů – na druhou stranu u m. tibialis anterior nebyly v kapilarizaci pozorovány žádné pohlavní rozdíly, přičemž u tohoto svalu také pozorujeme vůči ostatním zkoumaným svalům menší pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti (Avin et al., 2010; Porter et al., 2002).

2.2.4.3 Typy svalových vláken

Kosterní svaly člověka jsou tvořeny primárně kombinací vláken typu I, IIA a IIX (Scott et al., 2001; Landen et al., 2021a). Vlákná typu II disponují rychlejší kinetikou Ca^{2+} , dokážou vyvinout větší sílu, vyšší rychlost zkrácení i relaxace, ale jsou snáze unavitelné než vlákna typu I (Schiaffino & Reggiani, 2011). U m. tibialis anterior, vastus lateralis m. quadriceps femoris a m. biceps brachii pozorujeme pohlavní rozdíly v procentuálním zastoupení plochy průřezu (*cross-sectional area*) jednotlivých typů

svalových vláken, což může způsobit pohlavní rozdíly v unavitelnosti celého svalu (Staron et al., 2000, Carter et al., 2001, Porter et al., 2002). Počet svalových vláken by se mezi pohlavími sice lišit neměl (Larsson et al., 2006; Porter et al., 2002; Miller et al., 1993), nicméně ženy mohou mít menší svalová vlákna typu II, čímž tedy má celý sval v důsledku vyšší CSA vláken typu I (Hunter, 2014, 2016a).

Morfologie a vlastnosti svalových vláken u mužů a u žen jsou podmíněny pohlavními rozdíly v expresi genů kódujících kosterní svalovinu člověka a v interakci s hormony specifickými pro jednotlivá pohlaví – specifické geny, které by měly hrát roli v oblasti kosterního svalstva jsou stále předmětem výzkumů, přičemž studie zkoumající vlastnosti jednotlivých svalových vláken (*single fibre studies*) nenaznačují přítomnost pohlavních rozdílů v maximální síle, výkonu či rychlosti kontrakce (Hunter et al., 2014; Krivickas et al., 2001, 2006; Liu et al., 2010; Trappe et al., 2003)

Spolu s pohlavními rozdíly ve vlastnostech svalových vláken existují důkazy o pomalejší kinetice vápníku sarkoplasmatického retikula u žen vůči mužům, což bylo pozorováno během analýzy svalové biopsie před a po sprintu, kdy ženy měly o 24 % nižší maximální aktivitu Ca^{2+} ATPázy sarko/endoplasmatického retikula (SERCA), přičemž nižší aktivita SERCA a vstřebávání Ca^{2+} do sarkoplasmatického retikula je spojena s pomalejší relaxací svalových vláken. Svalová vlákna II typu mají zhruba trojnásobně vyšší aktivitu SERCA a dvakrát rychlejší vstřebávání Ca^{2+} než vlákna typu I, přičemž pohlavní rozdíly v aktivitě SERCA a vstřebávání vápníku jdou ruku v ruce s rozdíly mezi muži a ženami v proporčním zastoupením svalových vláken v rámci jednotlivých svalů (Gollnick et al., 1991; Harmer et al., 2014; Hunter et al., 1999, 2014; Li et al., 2002).

U m. quadriceps femoris byla u mladých žen vůči mladým mužům pozorována nižší unavitelnost po 2 minutách elektricky evokovaných přerušovaných kontrakcí – s nižší unavitelností byla spojena zároveň pomalejší míra relaxace (*rate of relaxation*), přičemž totéž bylo pozorováno u žen u flexorů lokte při izometrických kontrakcích vysoké intenzity – měření probíhalo na základě kontrakcí evokovaných pomocí transkraniální magnetické stimulace (TMS) během maximální volní kontrakce (MVC) daného svalu (Hunter et al., 2006a; Keller et al., 2011; Wust et al., 2008). U žen ani u mužů nedošlo během TMS k rozdílům ve zvýšení motorického evokovaného potenciálu (MEP,

tj. elektromyografická odezva na TMS) a zároveň byla u obou pohlaví podobná i SIT – síla superimponovaného záškubu (*superimposed twitch torque*) (Hunter, 2014).

2.2.4.4 *Metabolismus kosterního svalu*

Pohlavní rozdíly v typu svalových vláken a kontraktilních vlastnostech mají pro jednotlivá pohlaví důsledek pro metabolismus kosterního svalu během dynamických a statických kontrakcí. Při statických kontrakcích o vysoké intenzitě m. tibialis anterior byla u mužů pozorována vyšší míra glykolýzy než u žen, přičemž aktivita kreatinkinázy i oxidativní kapacita byla mezi pohlavími srovnatelná (Russ et al., 2005). Podobné rozdíly byly pozorovány během sprintů i u m. quadriceps femoris, přičemž tyto metabolické odlišnosti jsou přisuzovány většímu proporčnímu zastoupení svalových vláken typu I u žen než u mužů – důležitá je však celková doba trvání daného úkonu, protože u kratších statických kontrakcí či sprintů nemusí být pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti patrné (Esbjornsson-Liljedahl et al., 1993, 1999, 2002, 2012; Maher et al., 2009; Hunter et al., 2014; Russ et al., 2005).

U žen můžeme během některých vytrvalostních aktivit střední až vysoké intenzity pozorovat vyšší oxidaci tuků než u mužů, což opět vychází z pohlavních rozdílů v metabolismu kosterních svalů, kdy u žen nalézáme vyšší hodnoty mRNA lipoproteinové lipázy (LPL), FATP1, FAT/CD36 a citrátsyntázy – tyto rozdíly naznačují, že u žen lze za výše zmíněných podmínek pozorovat nižší svalovou unavitelnost a zároveň rychlejší zotavení (Binnert et al., 2000; Kiens et al., 2004; Hunter, 2014).

2.2.4.5 *Volní aktivace a centrální nervový systém*

Aktivace motorické oblasti mozkové kůry během volní kontrakce zahrnuje vzájemnou spolupráci sestupných nervových drah, spinálních interneuronů a aferentní periferní zpětné vazby – pokud na jedné z těchto etází pozorujeme pohlavní rozdíly, budou pak patrné v konečném motorickém projevu, přičemž během únavových kontrakcí je klíčové právě udržení optimální volní aktivace (Enoka, 2012; Hunter, 2014). Muži a ženy mají u maximálních kontrakcí podobnou míru volní aktivace svalu – pohlavní rozdíly ve svalové síle či rychlosti kontrakce tedy nejsou spojeny se schopností odlišně aktivovat kosterní svalstvo (tento parametr byl zkoumán s využitím různých stimulačních modalit – např. elektrické stimulace motorického nervu či svalu anebo transkraniální

magnetické stimulace motorického kortexu) (Hunter et al., 2024). Během únavových kontrakcí můžeme často pozorovat selhání volní aktivace u mužů i u žen, což během maximálního úsilí znamená, že míra nervového signálu do svalu (*neural drive*) je nedostatečná – tomuto jevu se někdy také říká centrální únava (*central fatigue*) (Gandevia, 2001).

Během aktivit nenavozujících únavu (*non-fatiguing motor tasks*) či drobných motorických úkonech (např. ťukání prsty) můžeme u žen pomocí fMRI pozorovat vyšší aktivaci korových center než u mužů, kdežto u mužů pozorujeme spíše vyšší aktivaci podkorových center (Gorbet et al., 2007; Lissek et al., 2007). Dle MEP za klidových podmínek nepozorujeme pohlavní rozdíly v elektrické aktivitě motorické kůry (Pitcher et al., 2003). Během maximální volní kontrakce lze volní aktivaci měřit pomocí TMS, přičemž zde pohlavní rozdíly nebyly pozorovány u dorziflexorů kotníku ani u flexorů lokte (Todd et al., 2003; Keller et al., 2011; Molenaar et al., 2013; Yoon et al., 2007; Russ & Kent-Braun, 2003).

Při statické kontrakci o nízké intenzitě do selhání byl u flexorů lokte u žen pozorován delší čas do selhání (a tedy nižší unavitelnost), nicméně pokles ve volní aktivaci byl u obou pohlaví podobný – rozdíl v unavitelnosti tedy přisuzujeme spíše mechanismům uvnitř svalu (Keller et al., 2011; Hunter, 2014; Yoon et al. 2007). Při šesti MVC flexorů lokte bylo na konci posledního MVC u mužů pozorováno významnější snížení maximální síly než u žen, ale pokles ve volní aktivaci byl v rámci jednotlivých pohlaví bez rozdílů (Hunter et al., 2006a). U svalů dolních končetin však nalézáme odlišné výsledky. Větší unavitelnost u mužů během přerušovaných maximálních kontrakcí dorziflexorů byla spojena i s větším snížením volní aktivace (Russ & Kent-Braun, 2003), totéž bylo pozorováno u extenzorů kolene během maximální statické kontrakce (Martin & Rattey, 2007).

Pokles volní aktivace v důsledku únavy může být zvýšen díky aferentnímu feedbacku z periferie (*peripheral afferent feedback*), který může být v rámci svalů dolních končetin za určitých podmínek u mužů větší než u žen – jedná se například o aferentní vlákna typu III a IV, které reagují na ischemii a akumulaci metabolitů ve svalu (což u mužů můžeme za určitých podmínek pozorovat ve větší míře z důvodů popsaných výše) a snižují tak volní aktivaci (Gandevia, 2001; Hunter, 2014; Martin et al., 2008; Russ & Kent-Braun, 2003).

2.2.4.6 Menstruační cyklus

V současnosti nemáme jasné důkazy o vlivu menstruačního cyklu (respektive měsíční fluktuace hormonů) na svalovou unavitelnost u žen (Janse de Jonge, 2003). Byla pozorována korelace mezi vyšší hodnotou estrogenů v pozdní folikulární fázi s vyšší svalovou silou, unavitelností a pomalejší svalovou relaxací (Sarwar et al., 1996), ale celá řada dalších studií uvádí napříč menstruačním cyklem pouze minimální rozdíly ve svalové síle a unavitelnosti, a to bez ohledu na typ či intenzitu zátěže (Friden et al., 2003; Hoeger Bement et al., 2009; Hunter et al., 2004a, 2006b, 2009; Janse de Jonge et al., 2001; Keller et al., 2011). Během izometrické kontrakce nebyla pozorována ani zvýšená akumulace metabolitů (H^+ a $H_2PO_4^-$) během pozdní folikulární fáze vůči luteální fázi (Ettinger et al., 1998).

Fáze menstruačního cyklu může hrát roli během delšího cvičení v závislosti na okolních podmínkách – v horkých a vlhkých podmínkách byl u mladých žen během luteální fáze vůči folikulární fázi čas do selhání při submaximální intenzitě na bicyklovém ergometru snížen a zároveň srdeční tep, ventilace a vnímaná únava zvýšeny, kdežto v mírných podmínkách (*temperate conditions*) nebyly pozorovány žádné rozdíly (Janse et al., 2012).

Vliv dlouhodobě nízkých hladin pohlavních hormonů u lidí v pokročilém věku na svalovou unavitelnost není dostatečně objasněn (Hunter, 2014), nicméně pohlavní rozdíly v unavitelnosti s věkem obecně klesají (Hunter, 2009). Ženy v pokročilém věku na substituční hormonální terapii vykazují vůči ženám bez této terapie minimální rozdíly v unavitelnosti a výdrži (Cheng et al., 2003; Finni et al., 2011).

2.2.4.7 Sociologické faktory

V literatuře se uvádí několik sociologických faktorů, které mohou mít vliv na pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti – zahrnují zejména: a) publikování pouze signifikantních rozdílů mezi pohlavími, b) historicky i současně vyšší zahrnování mužů do výzkumných studií, c) pohlavní rozdíly v míře fyzické aktivity (Hunter, 2014). Ženské pohlaví je nedostatečně zastoupeno v biomedicínských výzkumech (Kim et al., 2010) – totéž platí i konkrétně pro výzkum svalové unavitelnosti (Hunter, 2014). V roce 1993 vyšel *National Institutes of Health Revitalization Act*, který zdůrazňuje zahrnování žen do studií a v roce 2001 pak na důležitost pohlaví upozornila publikace *Exploring*

the Biological Contributions of Sex (Hunter, 2016a; Wizemann & Pardue, 2001). Národní instituty zdraví (*National Institutes of Health*) se k této problematice vrací ještě v roce 2015, kdy doporučují zavádět pohlaví jako biologickou proměnnou ve studiích na lidech a zvířatech (Hunter, 2016a). Přestože se v posledních letech situace zlepšuje, z hlediska svalové unavitelnosti je v těchto výzkumech stále významně nižší zastoupení žen než mužů (Hunter, 2014).

Ženy se mohou jevit obecně méně fyzicky aktivní než muži (Bassett et al., 2010), což může mít vliv na pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti – míra fyzické aktivity tedy musí být ve studiích zaměřených na svalovou unavitelnost zařazena jako jedna z proměnných (Hunter, 2014).

2.2.4.8 Genetické a hormonální faktory

Mezi proměnné ovlivňující fyziologické rozdíly mezi pohlavími řadíme také pohlavní hormony, pohlavní chromozomy a interakce genů s okolním prostředím (*gene-by-environment interactions*), např. epigenetiku (Landen et al., 2021a).

Pohlavní chromozomy určují sexuální diferenciaci gonád, prostředí pohlavních hormonů (*sex hormone milieu*) a mohou přímo ovlivňovat pohlavní rozdíly nezávisle na pohlavních hormonech tím, že modulují aktivitu autozomálních genů, které jsou součástí klíčových buněčných funkcí – např. energetického metabolismu (Arnold, 2012; Raznahan et al., 2018; Taylor et al., 2010; Zore et al., 2018).

Hormonální prostředí je definováno celoživotní expozicí specifickým pohlavním hormonům a je jedním z klíčových hráčů z hlediska adaptace na zátěž (Landen et al., 2021a), přičemž výzkumů zabývajících se vlivem pohlavních hormonů nejen na kosterního svalstvo stále přibývá (Alexander et al., 2021; Pihlajamaa et al., 2015; Varlamov et al., 2014). Obě pohlaví produkují pohlavní hormony „mužské“ (testosteron) i „ženské“ (estrogeny – *oestrogens*, gestageny – *progestogens*), ovšem v rozdílném množství, které je ovlivněno zejména pohlavím či u žen menopauzálním statusem (*menopausal status*) (Landen et al., 2021a). Exprese genů nebo naprogramované latentní pohlavní rozdíly v regulaci genů mohou být ovlivněny různými proměnnými (např. věk, stres či specifické onemocnění) – muži a ženy tedy mohou být předurčeni k odlišným reakcím na fyziologické stresory, kam zároveň řadíme např. i fyzickou aktivitu (Lopes-

Ramos et al., 2018, 2020; Tarnopolsky et al., 2000, 2007, 2008; Landen et al., 2019; Chapman et al., 2020).

Pohlavní rozdíly byly pozorovány také v transkriptomu kosterního svalu (*skeletal muscle transcriptome*) a jeho reakci na fyzickou zátěž (Gershoni & Pietrokovski, 2017; Chapman et al., 2020; Landen et al., 2021a; Lopes-Ramos et al., 2020; Lindholm et al., 2014; Liu et al., 2010; Maher et al., 2009; Oliva et al., 2020; Welle et al., 2008), přičemž následné meta-analýzy identifikovaly 247 genů, jejichž reakce na fyzickou zátěž se mezi pohlavími lišila (Amar et al., 2021; Landen et al., 2021a; Pillion et al., 2020). Ve studii porovnávající transkripty kosterních svalů trénovaných a netrénovaných jedinců bylo zjištěno, že pohlavní rozdíly jsou u trénovaných jedinců pozorovány v menší míře než u netrénovaných (Chapman et al., 2020). Pro hlubší vhled do tohoto tématu je potřeba vznik nových studií, které zahrnou pohlaví jako proměnnou a budou sledovat změny fenotypu (*phenotypic consequences*), jakožto důsledku pohlavně-specifických změn transkriptomu v reakci na fyzickou zátěž (Landen et al., 2021a).

Z hlediska genetických faktorů nelze opomenout ani epigenetické modifikace (např. metylace DNA, modifikace histonů, nekódující RNA), které regulují transkripci a translaci v rámci kosterních svalů a jejich reakce na fyzickou zátěž, přičemž nejznámějším epigenetickým mechanismem v kontextu kosterního svalstva a fyzické zátěže je metylace DNA (Jacques et al., 2019; Landen et al., 2021a). Pohlavní rozdíly v metylaci DNA v rámci kosterního svalu mohou mít podíl na změnách fenotypu (Landen et al., 2021a) – pohlavní rozdíly byly pozorovány např. u DNA metylomů kosterních svalů, které jsou spojovány s metabolickými drahami (*substrate metabolism pathways*). Oblasti genomu (*genomic regions*), kde sledujeme pohlavní rozdíly v metylaci DNA jsou bohaté na vazebná místa (*binding sites*) transkriptorních faktorů (*transcription factors*) spojených s hormony, což naznačuje, že celoživotní působení odlišných pohlavních hormonů na daného jedince je základem pohlavně-specifické metylace DNA v rámci kosterního svalu s následným vlivem na samotnou svalovou funkci (Landen et al., 2021b). Geny, u kterých byly pozorovány pohlavní rozdíly z hlediska metylace DNA, naznačují vyšší oxidativní fosforylaci v myoblastech a myotubech u žen než u mužů (Landen et al., 2021a). Další epigenetické modifikace (např. modifikace histonů) mohou také hrát roli v kontextu pohlavních rozdílů v reakci kosterních svalů na fyzickou zátěž a v současnosti jsou předmětem výzkumu (Landen et al., 2019, 2021a).

2.2.5 Praktický význam pohlavních rozdílů ve svalové unavitelnosti

Pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti a mechanismy s nimi spojené hrají roli především z hlediska návrhu nejlepších možných strategií tréninku/rehabilitace a také kompenzace limitací ve sportu a v pracovních činnostech (Hunter, 2014). Vzhledem k existenci pohlavních rozdílů ve svalové unavitelnosti (a s ní spojenými mechanismy) může být adaptace na zátěž mezi muži a ženami odlišná (Hunter, 2014), protože pohlaví každé buňky (tedy přítomnost chromozomu XX nebo XY) je jedním ze základních rozdílů, na které je potřeba brát zřetel (Bouchard, 2012; Miller, 2012). Odhalení pohlavních rozdílů při motorických aktivitách se současnou mentální zátěží může pomoci pochopit fyziologické mechanismy podílející se na těchto rozdílech a přispět tak k realizaci efektivních intervencí za účelem zlepšení výkonnosti během pracovních úkonů (*work-related tasks*), potažmo pak prevence muskuloskeletálních poruch (Pereira & Hunter, 2023; Wijnhoven, 2006).

Muskuloskeletální poruchy (*musculoskeletal disorders*) představují pro zdravotnický systém značnou ekonomickou zátěž (Bhattacharya, 2014) a předešlé výzkumy ukazují, že rozvoj MSD je spjat s profesí, kterou daný jedinec vykonává (Treaster & Burr, 2004). Mezi rizikové faktory řadíme například svalovou práci o intenzitě vyšší než 10% maximální volní kontrakce (MVC), provádění opakovaných pohybů nebo držení statických pozic (Nordander et al., 2016; Lundberg, 2002; van Rijn et al., 2010), ale i zvýšenou míru stresu (Lundberg 2002; Treaster & Burr, 2004). Některé z těchto faktorů mohou vést k únavě, která je považována za jednu z hlavních příčin rozvoje MSD (Frasie et al., 2024; Gallagher & Heberger, 2015; van Rijn et al., 2010) a současně může zvýšit riziko úrazů na pracovišti, čímž snižuje bezpečnost práce (Gurubhagavatula et al., 2021). U žen většinou pozorujeme vyšší prevalenci MSD (Bergman et al., 2001; Borgefors et al., 2004; Urwin et al., 1998; Eriksen et al., 1998, 2003; Molarius et al., 2002; Guo et al., 2004; Overstreet et al., 2023), a to zejména na horních končetinách (de Zwart et al., 2001; Guo et al., 2004; Eriksen, 2003). Přestože důvody vysvětlující tuto skutečnost nejsou jednoznačné (Picavet & Schouten, 2003), v literatuře jsou předmětem diskusí tyto tři teorie: 1) větší návštěvnost lékaře v důsledku bolesti u žen, 2) vyšší náchylnost (biologická, sociologická či psychologická) žen k rozvoji muskuloskeletálních poruch, 3) vyšší expozice rizikovým faktorům u mužů než u žen (Wijnhoven, 2006).

Téma pohlavních rozdílů ve svalové unavitelnosti je řešeno také v oblasti rehabilitace, ale výzkumů nemáme k dispozici mnoho – sledována byla např. osteoartróza, kdy prevalence a míra závažnosti obtíží je u žen vyšší – zda však jednotlivá pohlaví reagují na daný pohybový režim odlišně není známo (Boyan et al., 2012, 2013; Goligthly et al., 2012). Nelze tedy předpokládat, že pohybová léčba založená na relativních intenzitách by v rámci rehabilitace po zraněních či u neuromuskulárních poruch měla být u mužů i žen stejná (Hunter, 2014).

2.3 Mentální zátěž

Většina pracovních i běžných denních činností zpravidla představuje kombinaci fyzické a mentální aktivity (např. psaní během zpracovávání informací při sledování přednášky, řízení vozidla za současného hlasového ovládání virtuálního asistenta), přičemž některé z těchto aktivit vyžadují déletrvající statické kontrakce za přítomnosti zvýšené hladiny stresu (Pereira & Hunter, 2023; Mixter et al., 2023). V laboratorních podmínkách tyto situace zkoumáme za využití příslušné fyzické zátěže (např. statická či dynamická kontrakce) spolu s mentální (kognitivní) zátěží, která probíhá buď před a/nebo současně s aktivitou fyzickou (Koch et al., 2018; Pageaux & Lepers, 2018). Mentální zátěž se typicky zaměřuje na pracovní paměť (*working memory*), rychlost zpracování informací (*processing speed*), kognitivní flexibilitu (*cognitive flexibility*) a exekutivní funkce (*executive function*), což jsou důležité prvky denních aktivit (Pereira & Hunter, 2023). Současná mentální zátěž během zátěže fyzické může ovlivňovat výkon a výdrž dvěma způsoby – negativně, neboť je potřeba zvýšit celkové úsilí (Mehta & Agnew, 2012; Srinivasan et al., 2016; Longo et al., 2018), anebo pozitivně, kdy působí jako rozptýlení (*distraction*), čímž může prodloužit výdrž (Blanchfield et al., 2014; Grande-Alonso et al., 2020; Cruz-Montecinos et al., 2021).

2.3.1 Mentální zátěž a svalová unavitelnost

Z hlediska vlivu mentální zátěže na svalovou unavitelnost záleží na skutečnosti, zda mentální zátěž zvyšuje úroveň stresu (*levels of stress*) nebo zda funguje pouze jako rozptýlení (*distraction*). V případě fyzické zátěže se současným zvýšením stresu lze předpokládat, že dojde spíše ke snížení výkonu, kdežto při použití mentální zátěže ve formě rozptýlení tomu tak být nemusí (Yoon et al., 2009; Pereira & Hunter, 2023).

Úroveň stresu lze objektivizovat pomocí parametrů reflektující míru aktivity sympatického nervového systému – např. krevní tlak, srdeční frekvence, srdeční výdej, změny v prokrvení, zvýšené pocení či změny v hladinách kortizolu (Yoon et al., 2009; Christou et al., 2004; Kajantie et al., 2006). Pomocí těžké mentální zátěže lze úroveň stresu zvýšit (Yoon et al., 2009), což může mít za následek zvýšení svalové unavitelnosti, přestože přesné mechanismy těchto vzájemných interakcí nejsou dostatečně vysvětleny – spekuluje se např. o vlivu maximální síly testovaného svalu (Keller-Ross et al., 2014). Kromě typu mentální zátěže je důležitý i druh fyzické aktivity, protože rozdíly mezi pohlavími jsou závislé na typu, intenzitě a rychlosti kontrakce, ale i na testované svalové skupině (Hunter, 2014).

V rámci studií zaměřených na kombinaci fyzické a současné mentální zátěže rozdělují autoři Mixter et al. (2023) mentální zátěž do tří kategorií: a) exekutivní funkce (sem patří např. nejčastěji využívaný Stroop test či N-back task); b) paměťové vybavování (*memory recall*), tedy zapamatování si slov, čísel či symbolů; c) kombinované/komplexní zpracovávání (*combined/complex processing*), kam řadíme např. matematické úkoly, které jsou také využívány nejčastěji. U těchto výzkumů se hodnotí vliv mentální zátěže zejména na biomechanické indikátory (např. kinematika či variabilita pohybu), indikátory stresu (variabilita srdeční frekvence, krevní tlak, aktivita stresových hormonů či vnímaná míra stresu) a indikátory únavy (změny na EMG, změny silových výkonů, čas do selhání a vnímaná míra únavy) (Mixter et al., 2023).

2.3.1.1 Exekutivní funkce

U statických kontrakcí pozorujeme negativní vliv tohoto typu mentální zátěže na biomechanické indikátory – dle velikosti efektu (*effect size*) pozorujeme převážně střední až velký efekt (Lundberg et al., 1994; Larsson et al., 1995; Mehta & Agnew, 2012; Deeney & O'Sullivan, 2017; Chatain et al., 2019), existují však i studie s malým či žádným efektem (Voelcker-Rehage et al., 2006; Au & Keir, 2007). Při zkoumání vlivu mentální zátěže využívající exekutivní funkce na indikátory stresu nalézáme spíše smíšené výsledky (Lundberg et al., 1994; Larsson et al., 1995; Chatain et al., 2019), přičemž u indikátorů únavy byl sledován negativní efekt malý (Evstigneeva et al., 2012) i velký (Deeney & O'Sullivan, 2017; Chatain et al., 2019).

Z hlediska vlivu tohoto typu mentální zátěže na biomechanické indikátory a indikátory stresu a únavy během dynamických kontrakcí nízké intenzity (nejčastěji v podobně práce na počítači či manuálních činností) nalézáme spíše smíšené výsledky (Mixer et al., 2023).

2.3.1.2 Paměťové vybavování

Během statické kontrakce byl zaznamenán velký negativní efekt současně mentální zátěže (ve formě okamžitého a opožděného vybavování) na výkonnost (Mixer et al., 2023; Tomporowski et al., 2017). U dynamických kontrakcí nízké intenzity byl pozorován převážně malý či žádný negativní efekt této mentální zátěže na biomechanické indikátory i indikátory stresu (Mixer et al., 2023; Finsen et al., 2001) a u indikátorů únavy efekt pozorován nebyl žádný (Shaikh et al., 2012).

2.3.1.3 Kombinované/komplexní zpracovávání

Tento typ mentální zátěže se současnou statickou fyzickou zátěží ve studiích zaměřených na biomechanické indikátory vykazuje zejména malý či žádný negativní efekt (Mehta & Parasuraman, 2014; Vanden Noven et al., 2014; Mehta & Agnew, 2014; Cruz-Montecinos et al., 2018; Guzmán-González et al., 2020), ale existují i studie s velkým negativním efektem (Yoon et al., 2009). U indikátorů stresu sledujeme spíše smíšené výsledky – některé studie naznačují negativní vliv mentální zátěže (Yoon et al., 2009; Mehta & Agnew, 2012), jiné nikoliv (Wasmund et al., 2002). Z hlediska indikátorů únavy nalezneme studie s žádným či malým negativním efektem (Mehta & Parasuraman, 2014; Vanden Noven et al., 2014; Cruz-Montecinos et al., 2018), ale i studie popisující významnější negativní vliv mentální zátěže (Yoon et al., 2009; Mehta & Agnew, 2012)

U dynamických kontrakcí nízké intenzity (převážně ve formě práce na počítači) byla jako mentální zátěž nejčastěji používána matematická úloha v různých variantách, přičemž v případě biomechanických indikátorů byl pozorován převážně žádný či malý negativní efekt (Grindle et al., 2018; Wang et al., 2011), méně pak střední negativní efekt (Qiu & Helbig, 2012; Longo et al., 2018). U indikátorů stresu byly pozorovány smíšené výsledky s převahou žádného či malého negativního efektu (Mixer et al., 2023) a u indikátorů únavy byl pozorován negativní efekt této mentální zátěže (Wang et al.,

2011). Během dynamických kontrakcí vysoké intenzity (nejčastěji zvedání břemen) byl v případě biomechanických indikátorů zaznamenán malý či žádný efekt (DiDomenico & Nussbaum, 2008, 2011) anebo autoři uvádí smíšené výsledky (Katsuhira et al., 2013).

Ve studiích zkoumajících vliv mentální zátěže na pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti můžeme narazit na dělení mentální zátěže (především ve formě matematických úloh) na lehkou a těžkou (Keller-Ross et al., 2014; Yoon et al., 2009). Lehká mentální zátěž působí pouze jako rozptýlení (*distraction*) a nezvyšuje hladinu stresu (resp. nezvyšuje aktivitu sympatiku), a proto by neměla zvyšovat unavitelnost, zatímco těžká mentální zátěž hladinu stresu zvyšuje, což může způsobit snížení výkonu a zvýšení unavitelnosti (Pereira & Hunter, 2023; Yoon et al., 2009). V předchozích studiích, které využívaly matematické úlohy, se jako lehká mentální zátěž uvádí odečítání čísla 1 od čísla 50 (Keller-Ross et al., 2014; Pereira et al., 2015; Vanden Noven et al., 2014; Yoon et al., 2009) a jako těžká mentální zátěž pak odečítání čísla 7 nebo 13 od libovolného čtyřciferného čísla (Keller-Ross et al., 2014; Pereira et al., 2015; Vanden Noven et al., 2014; Yoon et al., 2009).

2.4 Současný stav poznání řešené problematiky

Vliv mentální zátěže na pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti je stěžejním tématem studie řešené v rámci této disertační práce. Tato práce doplňuje poznatky studií zahrnutých do dříve publikované rešerše na toto téma (Vymyslický et al., 2022). Charakteristika a výsledky studií zahrnutých do rešerše byly převzaty z naší původní publikace (viz Tabulka 2 a 3). Z výsledků rešerše je patrné, že mentální zátěž sice může zvýšit svalovou unavitelnost u obou pohlaví, ale u žen často v důsledku mentální zátěže pozorujeme výraznější zvýšení svalové unavitelnosti než u mužů, přičemž tato skutečnost může mít významné praktické důsledky (viz kap. 2.2.5 a kap. 6.6).

Přestože byla u žen – nehledě na mentální zátěž – během izometrických kontrakcí o nízké intenzitě pozorována nižší svalová unavitelnost než u mužů (Vymyslický et al., 2022), pro izometrické kontrakce o střední intenzitě nemáme dostatek studií (Hunter, 2024). U žen byla zároveň během fyzické zátěže se současnou mentální zátěží pozorována významnější fyziologická reakce (vyšší úroveň stresu) než u mužů (Kajantie et al., 2006), což může mít například negativní vliv na kontraktilitu svalových vláken typu I (Roatta et al., 2008), které u žen v mnoha svalech převládají (Hunter, 2023).

Sledování pohlavních rozdílů ve svalové unavitelnosti je aktuálním tématem, protože historicky byl vliv pohlaví přehlížen a zkoumání byli především muži (Hunter, 2024). Výzkum v posledních letech zdůrazňuje potřebu vzniku nových studií zkoumajících vliv mentálních zátěží na svalovou unavitelnost se zřetelem na ženské pohlaví (Hunter, 2014). Z praktického hlediska je pak toto téma důležité zejména v kontextu rozvoje muskuloskeletálních poruch, a to zejména u profesí, které kombinují fyzickou aktivitu různé intenzity se současnou mentální zátěží (Pereira & Hunter, 2023).

Studie	Počet probandů	Věk (roky)	Typ fyzické zátěže Režim kontrakce Intenzita fyzické zátěže Lateralita	Typ mentální zátěže
Keller-Ross et al. (2014) (Část 1)	M = 26 Ž = 29	M = 20 ± 2 Ž = 20 ± 3	Flexe lokte Statická kontrakce do selhání 20 % MVC Levá paže	1. měření: bez mentální zátěže 2. měření: těžká mentální zátěž 4 minuty před začátkem a během fyzické zátěže (odečítání čísla 13 od čtyřciferného čísla)
Keller-Ross et al. (2014) (Část 2)	M = 14 Ž = 9	M = 20 ± 2 Ž = 20 ± 4	Flexe lokte Statická kontrakce do selhání 20 % MVC Levá paže	1. měření: bez mentální zátěže 2. měření: lehká mentální zátěž 4 minuty před začátkem a během fyzické zátěže (odečítání čísla 1 od čísla 50)
Mehta & Agnew (2012)	M = 6 Ž = 6	M = 22.3 ± 1.9 Ž = 21.3 ± 1.5	Abdukce ramene Přerušovaná statická kontrakce 15 %, 35 %, 55 % MVC Dominantní paže	Celkem 6 měření: pro 15 %, 35 % a 55 % MVC (jedno bez mentální zátěže a druhé s těžkou mentální zátěží = násobení třemi náhodně generovaného jednociferného či dvouciferného čísla)
Pereira et al. (2015)	M = 13 Ž = 17	M = 71 ± 5 Ž = 70 ± 6	Flexe lokte Statická kontrakce do selhání 20 % MVC Dominantní paže	1. měření: bez mentální zátěže 2. měření: lehká mentální zátěž 4 minuty před začátkem a během fyzické zátěže (odečítání čísla 1 od čísla 100) 3. měření: těžká mentální zátěž 4 minuty před začátkem a během fyzické zátěže (odečítání čísla 13 od čtyřciferného čísla)
Vanden Nooven et al. (2014)	M = 17 Ž = 17	M = 45.4 ± 3.5 Ž = 43.9 ± 2.6	Dorziflexe kotníku Statická kontrakce do selhání 30 % MVC Nedominantní dolní končetina	1. měření: bez mentální zátěže 2. měření: lehká mentální zátěž 4 minuty před začátkem a během fyzické zátěže (odečítání čísla 1 od čísla 50) 3. měření: těžká mentální zátěž 4 minuty před začátkem a během fyzické zátěže (odečítání čísla 13 od čtyřciferného čísla)
Yoon et al. (2009) (Část 1)	M = 10 Ž = 10	M = 22 ± 4 Ž = 22 ± 2	Flexe lokte Statická kontrakce do selhání 20 % MVC do selhání Nedominantní paže	1. měření: bez mentální zátěže 2. měření: těžká mentální zátěž 4 minuty před začátkem a během fyzické zátěže (odečítání čísla 13 od čtyřciferného čísla)
Yoon et al. (2009) (Část 2)	M = 11 Ž = 8	M = 20 ± 2 Ž = 20 ± 4	Flexe lokte Statická kontrakce do selhání 20 % MVC Nedominantní paže	1. měření: bez mentální zátěže 2. měření: lehká mentální zátěž 4 minuty před začátkem a během fyzické zátěže (odečítání čísla 1 od čísla 50)

Tabulka 2. Charakteristika studií zaměřených na vliv mentální zátěže na pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti. M = muži, Ž = ženy, MVC = maximální volní kontrakce (Vymyslický et al., 2022 – převzato)

Studie	Výsledky
Keller-Ross et al. (2014) (Část 1)	Čas do selhání: snížení u obou pohlaví s pohlavními rozdíly (-19.4 % u žen, -9.5 % u mužů) Subjektivní škála: neměřeno
Keller-Ross et al. (2014) (Část 2)	Čas do selhání: beze změny u obou pohlaví Subjektivní škála: neměřeno
Mehta & Agnew (2012)	Čas do selhání: snížení u obou pohlaví bez pohlavních rozdílů (nejvýraznější efekt u 35 % MVC) Subjektivní škála: neměřeno
Pereira et al. (2015)	Čas do selhání: snížení u žen, u mužů beze změny Subjektivní škála: neměřeno
Vanden Noven et al. (2014)	Čas do selhání: beze změny u obou pohlaví Subjektivní škála: beze změny u obou pohlaví (RPE)
Yoon et al. (2009) (Část 1)	Čas do selhání: snížení u obou pohlaví s pohlavními rozdíly (-27.3 % u žen, -8.6 % u mužů) Subjektivní škála: beze změny (VAS)
Yoon et al. (2009) (Část 2)	Čas do selhání: beze změny u obou pohlaví Subjektivní škála: beze změny (VAS)

Tabulka 3. Výsledky studií zaměřených na vliv mentální zátěže na pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti. MVC = maximální volní kontrakce, RPE = škála vnímaného úsilí, VAS = visuální analogová škála (Vymyslický et al., 2022 – převzato)

3 Cíle práce, úkoly, výzkumné otázky a hypotézy

3.1 Cíle práce

Cílem této disertační práce je zjistit, zda má těžká mentální zátěž během izometrické kontrakce do selhání m. biceps brachii nedominantní horní končetiny o intenzitě 40 % MVC větší vliv na svalovou unavitelnost u žen než u mužů.

3.2 Úkoly práce

1. Rešerše odborné literatury na téma únavy a její objektivizace v kontextu pohlavních rozdílů a vlivu mentální zátěže
2. Specifikace metodiky klinické studie na základě předchozích studií na toto téma, formulace výzkumných otázek a hypotéz
3. Realizace měření, sběr dat
4. Analýza dat, statistické zpracování a následná interpretace
5. Zpracování výsledků a jejich konfrontace s předchozími studiemi, vyvození závěrů a doporučení směřování dalšího výzkumu

3.3 Výzkumné otázky

Výzkumné otázky byly stanoveny na základě doporučení pro další výzkum v dříve publikovaných studiích na toto téma a vlastní identifikace nedostatků (*knowledge gaps*) v související literatuře (viz kap. 2.4 Současný stav poznání řešené problematiky).

- V1: Liší se vliv těžké mentální zátěže na čas do selhání mezi ženami a muži během izometrické kontrakce m. biceps brachii nedominantní horní končetiny při intenzitě 40 % MVC až do selhání?
- V2: Liší se vliv těžké mentální zátěže na pokles mediánu frekvence EMG signálu mezi ženami a muži během izometrické kontrakce m. biceps brachii nedominantní horní končetiny při intenzitě 40 % MVC až do selhání?
- V3: Ovlivňuje těžká mentální zátěž čas do selhání u žen a u mužů ve srovnání s kontrolní podmínkou bez mentální zátěže?
- V4: Ovlivňuje těžká mentální zátěž pokles mediánu frekvence EMG signálu u žen a u mužů ve srovnání s kontrolní podmínkou bez mentální zátěže?

- V5: Existují rozdíly mezi ženami a muži v čase do selhání během izometrické kontrakce m. biceps brachii nedominantní horní končetiny při 40 % MVC za nepřítomnosti mentální zátěže?
- V6: Existují rozdíly mezi ženami a muži v poklesu mediánu frekvence EMG signálu během izometrické kontrakce m. biceps brachii nedominantní horní končetiny při 40 % MVC bez mentální zátěže?
- V7: Existují pohlavní rozdíly v subjektivně vnímané únavě po čtyřminutovém klidovém sedu spojeném s těžkou mentální zátěží?

3.4 Hypotézy

Hypotézy byly stanoveny na základě výsledků dříve publikovaných studií na toto téma (viz kap. 2.4 Současný stav poznání řešené problematiky).

- H1: Předpokládáme, že těžká mentální zátěž způsobí větší zkrácení času do selhání u žen než u mužů během izometrické kontrakce m. biceps brachii nedominantní horní končetiny při intenzitě 40 % MVC do selhání.
- H2: Předpokládáme, že těžká mentální zátěž způsobí výraznější pokles mediánu frekvence EMG signálu u žen než u mužů během izometrické kontrakce m. biceps brachii nedominantní horní končetiny při intenzitě 40 % MVC do selhání.
- H3: Předpokládáme, že těžká mentální zátěž povede k významnému zkrácení času do selhání ve srovnání s kontrolní podmínkou bez mentální zátěže, a to u žen i u mužů.
- H4: Předpokládáme, že těžká mentální zátěž povede k výraznějšímu poklesu mediánu frekvence EMG signálu ve srovnání s kontrolní podmínkou bez mentální zátěže, a to u žen i u mužů.
- H5: Předpokládáme, že u žen a mužů existují rozdíly v čase do selhání při izometrické kontrakci m. biceps brachii nedominantní horní končetiny, a to jak v podmínkách s mentální zátěží, tak bez ní.
- H6: Předpokládáme, že u žen a mužů existují rozdíly v poklesu mediánu frekvence EMG signálu při izometrické kontrakci m. biceps brachii nedominantní horní končetiny, a to jak v podmínkách s mentální zátěží, tak bez ní.

H7: Předpokládáme, že po čtyřminutovém klidovém sedu spojeném s těžkou mentální zátěží bude u obou pohlaví zaznamenán významný nárůst subjektivně vnímané únavy.

4 Metodika

4.1 Výzkumný soubor

Sedmnáct mužů a sedmnáct žen bylo zahrnuto do této studie (viz Tabulka 4 pro charakteristiku výzkumného souboru) – počet účastníků byl zvolen v souladu s analýzou G*Power 3.1 programu, který pro tento typ studie doporučil 34 účastníků (17 žen a 17 mužů). Mezi muži a ženami nebyly pozorovány statisticky významné rozdíly u těchto proměnných: věk, BMI, lateralita, počet kilometrů chůze za den, počet hodin cvičení za týden. Žádný z účastníků v minulosti ani současnosti netrpěl neurologickou, kardiovaskulární či psychiatrickou poruchou a netrpěl zranění testované horní končetiny. Žádný z účastníků neužíval v době sběru dat farmaka, která by mohla ovlivnit kognitivní či neuromuskulární schopnosti. Tato studie byla schválena etickou komisí Fakulty tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy (Příloha 1). Výběr účastníků byl záměrný dle výše uvedených kritérií. Každý účastník byl informován o průběhu studie a podepsal informovaný souhlas (Příloha 2).

4.2 Hodnotící nástroje

4.2.1 Povrchová elektromyografie

Měření bylo provedeno pomocí přístroje Noraxon Telemyo 2400 G2 na nedominantní horní končetině. Nedominantní horní končetiny byla zvolena za účelem snížení variability mezi účastníky, jež by mohla nastat v důsledku odlišných profesních a volnočasových aktivit prováděných dominantní horní končetinou (Yoon et al., 2009). Pro měření byly využity jednorázové samolepící Ag/AgCl elektrody opatřené vodivým gelem. Průměr adhezivní plochy elektrody byl 3.8 cm a průměr vodivé plochy byl 1 cm. Pár elektrod byl přilepen na očištěnou a odmaštěnou kůži. Elektrody byly umístěny 1 cm od sebe napříč podélné osy svalových vláken m. biceps brachii – paralelně k předpokládanému průběhu svalových vláken, přičemž referenční elektroda byla umístěna na olecranon testované horní končetiny (umístění odpovídá standardům SENIAM – *Surface Electromyography for Non-Invasive Assessment of Muscles*) (Konrad, 2005). Vzorkovací frekvence byla nastavena na 1500 Hz, šířka pásma byla 5-500 Hz a časové okno 1 sekunda.

4.2.2 Škála vnímané únavy

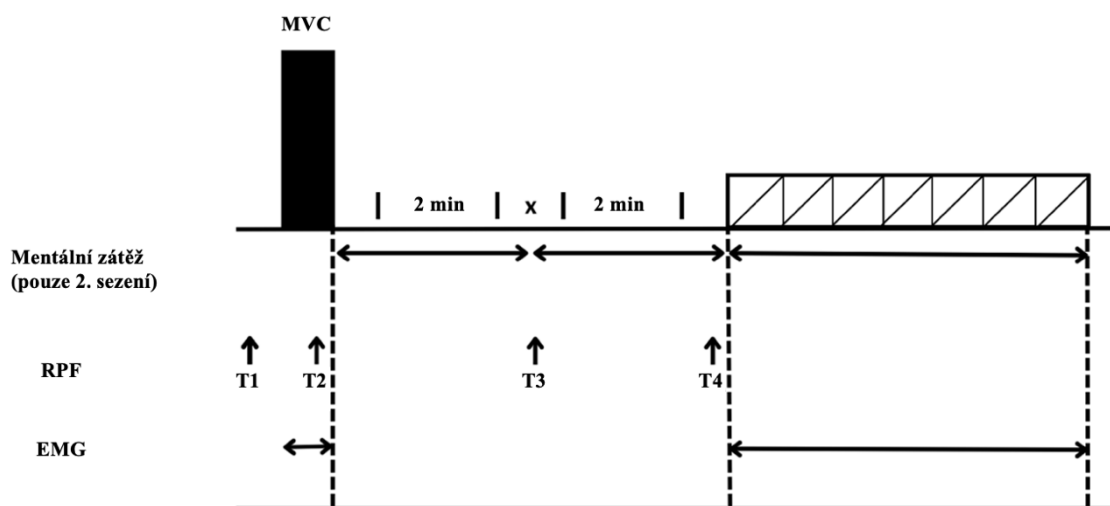
Micklewright et al. (2017) popsal škálu vnímané únavy (RPF – *rate of perceived fatigue*, někdy označována také jako ROF – *rating-of-fatigue*), jedná se o validovaný dotazník vytvořený modifikací Borgovy škály vnímaného úsilí (RPE – *rate of perceived exertion*). Sběr dat probíhá u této škály dotazem na aktuálně pociťovanou únavu a nabývá hodnot od 0 (žádná únava) do 10 (absolutní únava – neschopnost pokračovat).

4.3 Průběh měření

Každý účastník navštívil laboratoř dvakrát – poprvé na kontrolním a podruhé experimentálním sezení. Účastníci byli požádáni, aby se 48 hodin před měřením zdrželi konzumace alkoholu a kofeinu, dále aby se alespoň 48 hodin před měřením zdrželi činností, které by mohly vést k nadměrné zátěži testované horní končetiny, a aby před každým měřením spali alespoň 8 hodin. Na prvním sezení byly shromážděny základní údaje (věk, tělesná výška, tělesná hmotnost, laterálnost, průměrný počet nachozených kilometrů za den, průměrný počet hodin cvičení za týden a ženy byly dotázány na datum začátku poslední menstruace) a bylo provedeno první měření. Druhé sezení proběhlo minimálně 7 dní po prvním, ženy byly opět dotázány na den začátku poslední menstruace a bylo provedeno druhé měření.

Účastníci byli na obou sezeních vystaveni stejnému fyzickému úkolu, ale druhé sezení (experimentální) zahrnovalo navíc přítomnost mentální zátěže. Experimentální protokol je znázorněn na Obrázku 3. Nejprve byla dotazem změřena hodnota škály vnímané únavy (RPF) a poté byla pomocí elektromyografie změřena maximální volní kontrakce (MVC), během níž byl každý účastník silně verbálně povzbuzován k nejvyššímu možnému výkonu po dobu alespoň 5 sekund. Bezprostředně po skončení měření MVC byla hodnota RPF změřena znovu. Následoval odpočinek v podobě čtyřminutového klidového sedu (pokud se jednalo o kontrolní sezení) nebo čtyřminutového sedu se současnou mentální zátěží (pokud se jednalo o experimentální měření). Na obou sezeních byla v polovině čtyřminutového sedu a bezprostředně po něm opět změřena hodnota RPF. Po čtyřminutovém sedu byl účastník požádán, aby co nejdelší dobu (do selhání) tlačil zápěstím proti železné konstrukci, čímž navodil izometrickou kontrakci m. biceps brachii a současně tuto kontrakci držel na intenzitě 40 % MVC. Míra svalové aktivity 40 % MVC byla řízena pomocí

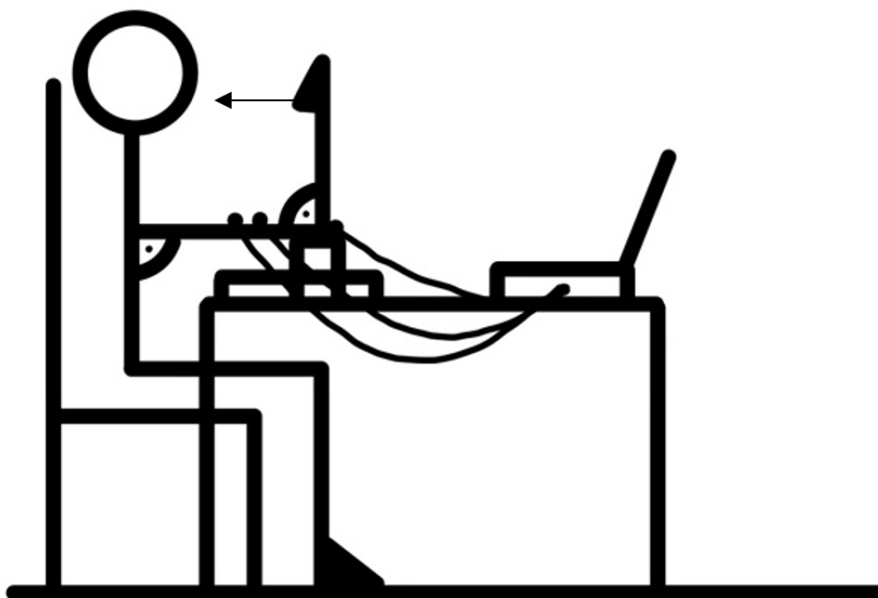
biofeedbacku na monitoru notebooku, který byl umístěn 1 metr před účastníkem. Během izometrické kontrakce byl každý účastník důrazně verbálně povzbuzován k dosažení co nejdelšího času do selhání. Za selhání byl považován okamžik, kdy svalová aktivita klesla pod 40 % MVC a během následujících 5 sekund se již tuto hodnotu nepodařilo překročit. Za přesný čas selhání byl považován okamžik, kdy účastník naposledy udržel aktivitu nad 40 % MVC (dle metodiky Yang et al., 2009). Počáteční čas (začátek kontrakce) byl stanoven jako okamžik, kdy účastník poprvé dosáhl 40 % MVC během měření. Přesný začátek a konec izometrické kontrakce byl stanoven offline analýzou EMG dat.



Obrázek 3. Experimentální protokol. Před měřením maximální volní kontrakce (MVC) byla zjištěna hodnota škály vnímané únavy (RPF) (T1), poté byla změřena MVC a následně byla znovu změřena hodnota RPF (T2). Účastník poté jen klidně seděl 4 minuty (pokud se jednalo o kontrolní sezení) anebo seděl 4 minuty se současnou mentální zátěží (pokud se jednalo o experimentální sezení). V polovině sezení (T3) a po sezení (T4) byla znovu změřena hodnota RPF. Poté byla provedena izometrická kontrakce do selhání.

Izometrická kontrakce byla prováděna ve speciální kovové konstrukci, která byla již dříve použita taktéž pro měření izometrické kontrakce m. biceps brachii (Vrbová, 2015). Účastník seděl ve vzpřímeném sedu (ucho, ramenní a kyčelní kloub byly pomocí olovnice srovnány do svislé osy), chodidla byla volně na zemi na šířku ramen účastníka. Ramenní i loketní kloub testované horní končetiny byl v 90° flexi (Konrad, 2005), loket

byl opřený o spodní hrazdu, předloktí v supinaci se zápěstím tlačícím na horní hrazdu (viz Obrázek 4). Druhá paže byla volně položena na stole dlaní dolů. Hrazdy byly ručně nastaveny tak, aby odpovídaly požadovaným úhlům ramenních a loketních kloubů pro každého účastníka. Ověření přesnosti nastavených úhlů v kloubech bylo zajištěno standardním kovovým goniometrem.



Obrázek 4. Schematické znázornění polohy účastníka při měření. Začátek šipky ukazuje umístění zápěstí účastníka na horní hrazdě a směr tlaku zápěstím.

Náročný matematický úkol je standardizovaná technika zvyšující úroveň stresu (Kajantie et al., 2006). Odečítání čísla 13 od libovolného čtyřciferného čísla bylo v předchozích studiích několikrát použito a označováno jako těžká mentální zátěž, která zvýšila úroveň stresu (Keller-Ross a kol., 2014; Pereira a kol., 2015; Vanden Noven a kol., 2017; Yoon a kol., 2009). Během odečítání musel účastník číslici hlásit každé tři sekundy (Noteboom, 2001) a v případě nesprávné odpovědi nebo nedodržení časového limitu byl požádán o opravu a opětovné odečtení od původně zvoleného čísla. V případě tří nesprávných odpovědí byl účastník vyzván, aby si vybral nové čtyřciferné číslo a odečítání začalo znova. Každý účastník byl vystaven těžké mentální zátěži pouze během druhé návštěvy (experimentální sezení), přičemž mentální zátěž začala ihned po měření MVC a trvala 4 minuty sedu a celou izometrickou kontrakci až do selhání (viz Obrázek 3).

4.4 Analýza a statistické vyhodnocení dat

4.4.1 Analýza dat

Data z povrchového EMG byla podrobena frekvenční analýze (která zahrnovala i automatické předzpracování a filtrování signálu) pomocí softwaru MR 3.8.30 od společnosti Noraxon, Inc., USA. Sledovanou frekvenční charakteristikou elektromyografického signálu byl medián frekvence (MDF), což je často používaný indikátor svalové únavy (González-Izal et al., 2012) a je méně zatížen nežádoucím šumem než průměrná hodnota frekvence (De Luca, 1997). Pro tuto studii byly použity hodnoty MDF na začátku izometrické kontrakce při intenzitě 40 % MVC (jako průměr hodnot MDF prvních pět sekund poté, co účastník dosáhl 40 % MVC) a v době selhání (jako průměr hodnot MDF posledních 5 sekund před selháním).

Pro stanovení samotné svalové unavitelnosti u daného účastníka studie byl jako první parametr zvolen vypočítaný procentuální pokles mediánu frekvence (od začátku do konce kontrakce), jako druhý parametr pak čas do selhání (*time to task failure*). U žen byl předpokládán menstruační cyklus o délce 28 dní, který byl rozdělen na dvě fáze – pre-menstruační (15-28 dní od prvního dne poslední menstruace) a post-menstruační (1-14 dní od prvního dne poslední menstruace), což je model využívaný i v dřívějších studiích (Pereira et al., 2020).

4.4.2 Statistické vyhodnocení dat

Pro statistické vyhodnocení dat byl použit software Microsoft Excel a Jamovi 2.3.28. Pokud není uvedeno jinak, data jsou prezentována jako průměry $\pm$ směrodatné odchylky. U všech dat byla nejprve testována normalita pomocí Shapiro-Wilkova testu a případně homogenita rozptylu pomocí Leveneova testu. V závislosti na výsledcích byly použity parametrické nebo neparametrické varianty statistických testů. Z důvodu technických problémů s EMG nebyla data od jednoho účastníka (muže) zahrnuta do statistické analýzy času do selhání (TTF) ani mediánu frekvence (MDF).

U parametru TTF byla data normálně rozdělena, takže k monitorování interakčního efektu (pohlaví $\times$ sezení) byla použita ANOVA s opakovanými měřeními s pohlavím jako *between-subject* faktorem a sezením jako *within-subject* faktorem. Pro efekt sezení u jednotlivých pohlaví byl použit párový t-test a pro efekt pohlaví u jednotlivých sezení nezávislý t-test.

V případě parametru procentuálního snížení MDF od začátku do konce izometrické kontrakce byla data normálně rozdělena, proto byla k pozorování interakčního efektu (pohlaví $\times$ sezení) použita ANOVA s pohlavím jako *between-subject* faktorem a sezením jako *within-subject* faktorem. Pro efekt sezení u jednotlivých pohlaví byl použit párový t-test a pro efekt pohlaví u jednotlivých sezení nezávislý t-test. Pro vliv fáze menstruačního cyklu na svalovou unavitelnost u žen byly jejich výsledky rozděleny dle dané fáze, ve kterých se pravděpodobně nacházely (pre-menstruační či post-menstruační) a vyhodnoceny pomocí nezávislého a párového t-testu.

Pro parametr škály vnímané únavy (RPF) byla data normálně rozdělena a pro analýzu požadovaných vztahů byl použit párový t-test v rámci jednotlivých sezení a nezávislý t-test v rámci pohlaví.

Nezávislé t-testy byly z hlediska výzkumného souboru použity k porovnání fyzických charakteristik (věk, výška, tělesná hmotnost, index tělesné hmotnosti a laterality) a úrovně fyzické aktivity (průměrný počet nachozených kilometrů za den a počet hodin cvičení za týden). Pro identifikaci statistické významnosti byla použita hladina významnosti $p \leq 0,05$.

5 Výsledky

Z hlediska věku, indexu tělesné hmotnosti (BMI), laterality, počtu nachozených kilometrů za den a počtu hodin cvičení za týden nebyly mezi pohlavími zjištěny žádné statisticky významné rozdíly ($p > 0.05$), nicméně pohlaví se lišila ve výšce a hmotnosti ($p < 0.05$; viz Tabulka 4).

Proměnná	Muži (n = 17)	Ženy (n = 17)	P (Efekt Pohlaví)
Věk (roky)	27.1 ± 2.5	26.2 ± 3.5	0.42
Tělesná výška (cm)	180.5 ± 5.9	168.5 ± 5.9	<0.001
Tělesná hmotnost (kg)	79.8 ± 10.8	61.1 ± 8.5	<0.001
BMI	23.5 ± 1.5	19 ± 1.4	0.08
Lateralita	88 % RH	88 % RH	N/A
Chůze za den (km)	5.2 ± 2.2	6 ± 1.6	0.22
Cvičení za týden (h)	4.3 ± 2.2	4.2 ± 2	0.94

Tabulka 4. Charakteristika výzkumného souboru. Hodnoty jsou v následujícím formátu: průměr ± směrodatná odchylka; pro laterality je uvedena procentuální hodnota, RH = praváci; N/A = neaplikovatelné

Čas do selhání (*time to task failure* – TTF)

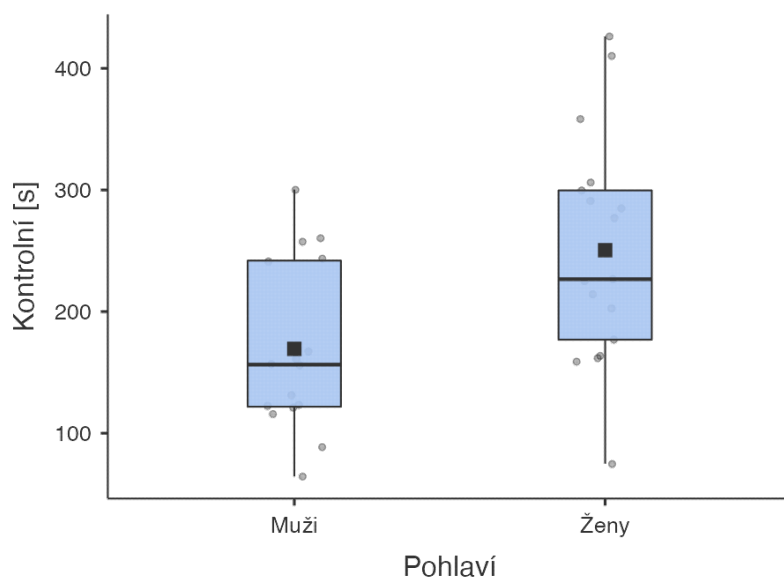
Muži na experimentálním sezení vydrželi o 8.3 sekundy (4.9 %) déle než na kontrolním měření. Ženy na experimentálním sezení vydržely o 27.2 sekundy (10.3 %) déle než na kontrolním měření (viz Tabulka 5). Ženy na kontrolním měření vydržely o 81.2 sekundy (47.9 %) déle než muži a na experimentálním sezení o 100.1 sekundy (56.4 %) déle než muži (viz Tabulka 6). Nebyl pozorován statisticky významný interakční vliv sezení × pohlaví ($p = 0.478$). Nebyl pozorován žádný statisticky významný vliv fáze menstruačního cyklu na čas do selhání na kontrolním sezení ($p = 0.564$) ani na experimentálním sezení ($p = 0.340$). Pro grafické znázornění rozdělení dat pro čas do selhání u mužů a žen během kontrolního a experimentálního sezení viz Graf 1 a 2.

Parametr	Pohlaví	Kontrolní	Experimentální	P (Efekt Sezení)
Čas do selhání (s)	Muži	169.3 ± 67.5	177.6 ± 92	p = 0.683
	Ženy	250.5 ± 91.4	277.7 ± 101.4	p = 0.172

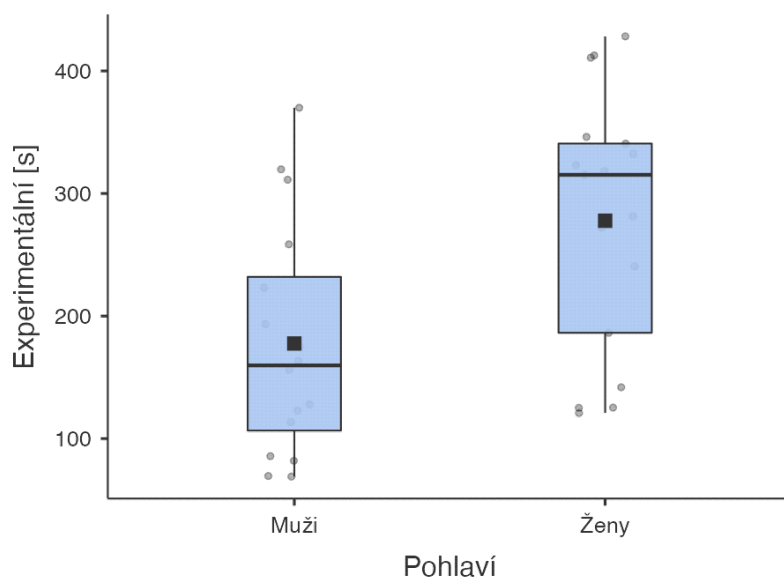
Tabulka 5. Efekt sezení na čas do selhání.

Parametr	Sezení	Muži	Ženy	P (Efekt Pohlaví)
Čas do selhání (s)	Kontrolní	169.3 ± 67.5	250.5 ± 91.4	p = 0.009
	Experimentální	177.6 ± 92	277.7 ± 101.4	p = 0.007

Tabulka 6. Efekt pohlaví na čas do selhání.



Graf 1. Grafické znázornění rozdělení dat pro čas do selhání (TTF) u mužů a žen během kontrolního sezení.



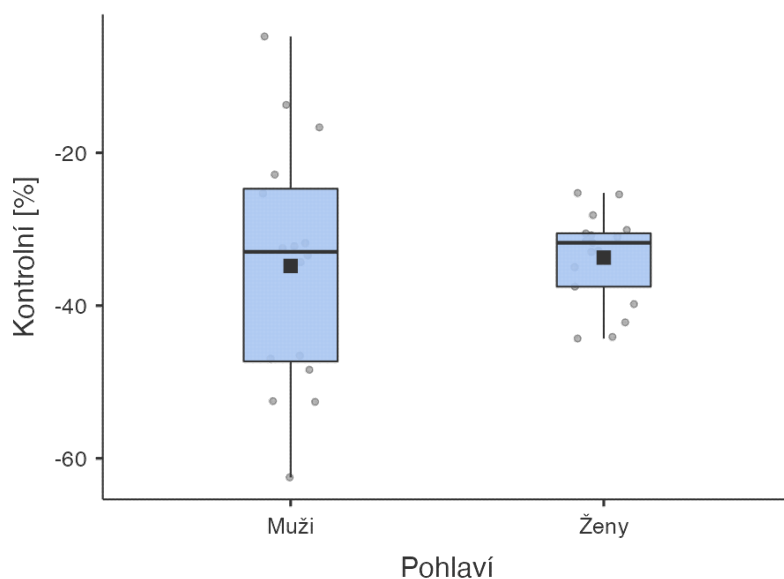
Graf 2. Grafické znázornění rozdělení dat pro čas do selhání (TTF) u mužů a žen během experimentálního sezení.

Procentuální pokles mediánu frekvence (MDF)

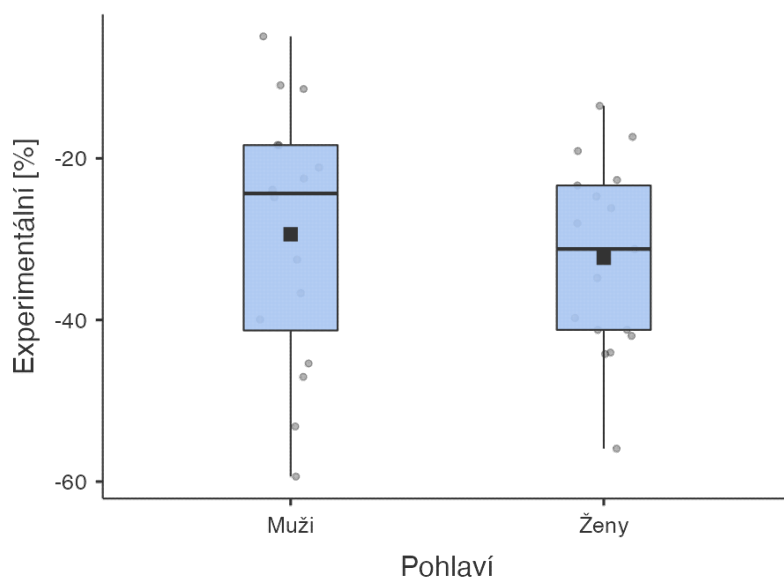
Svalová únava z elektromyografického hlediska byla analyzována procentuálním poklesem MDF (měřeno od začátku kontrakce do selhání) EMG signálu a byla u obou pohlaví na obou sezeních podobná (viz Tabulka 7). U mužů klesnul MDF o 34.5 % na kontrolním sezení a o 29.8 % na experimentálním sezení. U žen byl pozorován procentuální pokles MDF o 33.6 % na kontrolním sezení a o 32.8 % na experimentálním sezení. Nebyl pozorován žádný statisticky významný rozdíl v procentuálním poklesu MDF mezi sezeními (efekt sezení) u mužů ($p = 0.236$) ani u žen ($p = 0.634$). Nebyl pozorován žádný statisticky významný rozdíl v procentuálním poklesu MDF mezi pohlavími (efekt pohlaví) na kontrolním sezení ($p = 0.556$) ani na experimentálním sezení ($p = 0.792$). Nebyl pozorován žádný statisticky významný interakční efekt sezení $\times$ pohlaví ($p = 0.448$). Nebyl pozorován žádný statisticky významný vliv fáze menstruačního cyklu na procentuální pokles MDF na kontrolním sezení ($p = 0.765$) ani na experimentálním sezení ($p = 0.780$). Pro grafické znázornění rozdělení dat pro procentuální pokles mediánu frekvence elektromyografického signálu u mužů a žen během kontrolního a experimentálního sezení viz Graf 3 a 4.

Proměnná	Pohlaví	Sezení	t_0	$t_{\text{selhání}}$	P (Efekt Času)	Pokles MDF (%)
Pokles mediánu frekvence (Hz)	Muži	Kontrolní	76 ± 11	49.8 ± 14.2	$p < 0.001$	-34.5
	Ženy	Kontrolní	71.1 ± 12.4	47.3 ± 9.6	$p < 0.001$	-33.6
	Muži	Experimentální	74 ± 12.3	52 ± 13.4	$p < 0.001$	-29.8
	Ženy	Experimentální	68.5 ± 9.2	46 ± 8.5	$p < 0.001$	-32.8

Tabulka 7. Pokles mediánu frekvence. MDF = medián frekvence; t_0 = MDF na začátku statické kontrakce; $t_{\text{selhání}}$ = MDF v okamžiku selhání



Graf 3. Grafické znázornění rozdělení dat pro procentuální pokles mediánu frekvence (MDF) u mužů a žen během kontrolního sezení.



Graf 4. Grafické znázornění rozdělení dat pro procentuální pokles mediánu frekvence (MDF) u mužů a žen během experimentálního sezení.

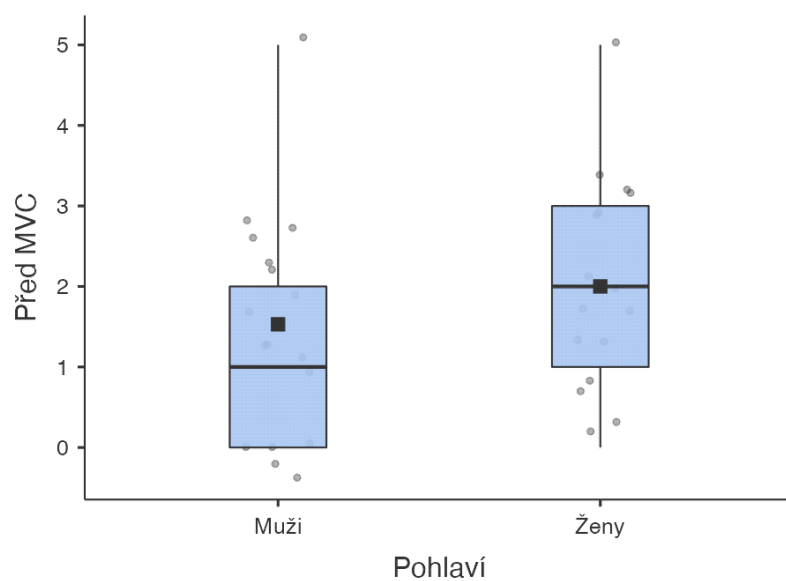
Škála vnímané únavy (*rate of perceived fatigue – RPF*)

Na kontrolním sezení byla subjektivní únava mužů a žen na začátku sezení (před MVC) podobná. Po měření MVC a také po 4 minutách odpočinku v sedě byli muži unavení podobně jako ženy (efekt pohlaví). Po měření MVC a 4 minutách odpočinku v sedě byly pouze ženy unavenější než na začátku sezení (viz Tabulka 8). Pro grafické znázornění rozdělení dat RPF u mužů a žen během kontrolního sezení viz Graf 5, 6 a 7.

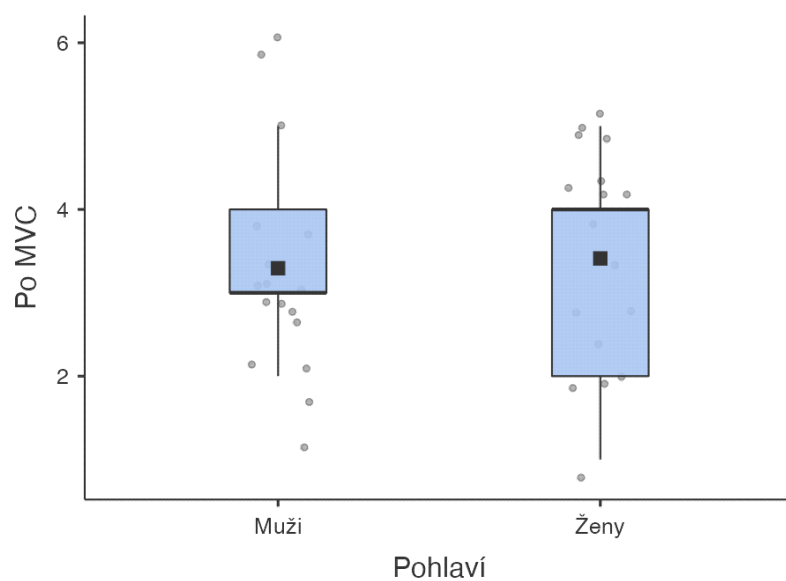
Na experimentální sezení byla subjektivní únava mužů a žen na začátku sezení (před MVC) podobná. Po měření MVC a také po 4 minutách sedu se současnou mentální zátěží se únava mužů, stejně jako žen, statisticky významně zvýšila, přičemž obě pohlaví byla unavená podobně (viz Tabulka 9). Pro grafické znázornění rozdělení dat RPF u mužů a žen během experimentálního sezení viz Graf 8, 9 a 10.

RPF – kontrolní sezení	Muži	Ženy	P (Efekt Pohlaví)
Před MVC	1.53 ± 1.42	2.00 ± 1.27	p = 0.317
Po MVC	3.29 ± 1.36	3.41 ± 1.28	p = 0.796
Po 4 minutách odpočinku v sedě	1.71 ± 1.36	2.53 ± 1.37	p = 0.089

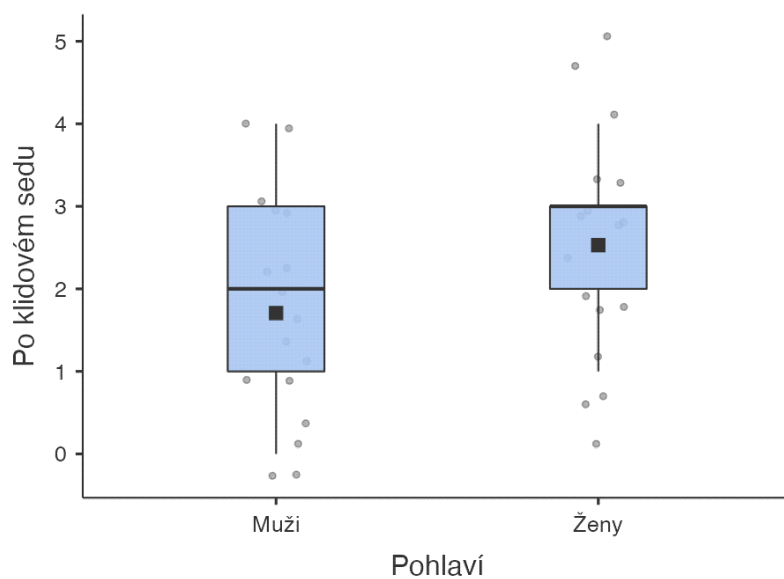
Tabulka 8. Efekt pohlaví na škálu vnímané únavy během kontrolního sezení. RPF = škála vnímané únavy; MVC = maximální volní kontrakce



Graf 5. Grafické znázornění rozdělení dat pro hodnoty škály vnímané únavy (RPF) před měřením MVC u mužů a žen během kontrolního sezení.



Graf 6. Grafické znázornění rozdělení dat pro hodnoty škály vnímané únavy (RPF) po měření MVC u mužů a žen během kontrolního sezení.

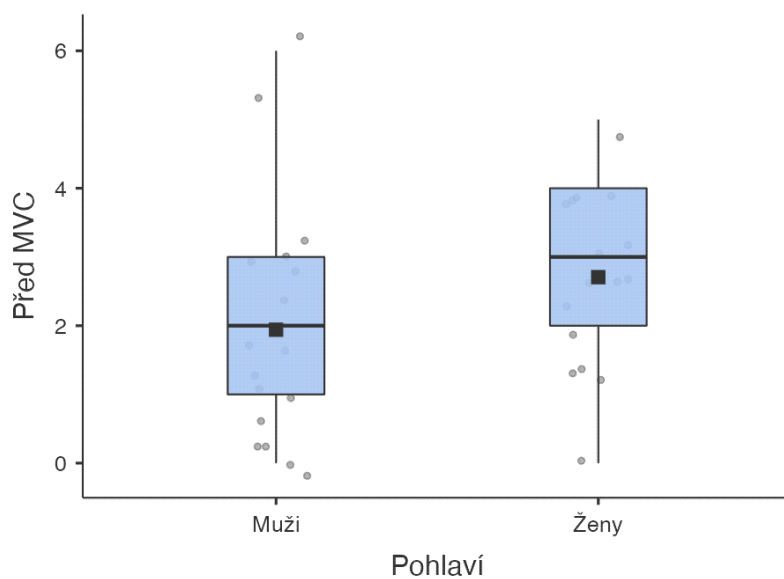


Graf 7. Grafické znázornění rozdělení dat pro hodnoty škály vnímané únavy (RPF) po čtyřminutovém klidovém sedu u mužů a žen během kontrolního sezení.

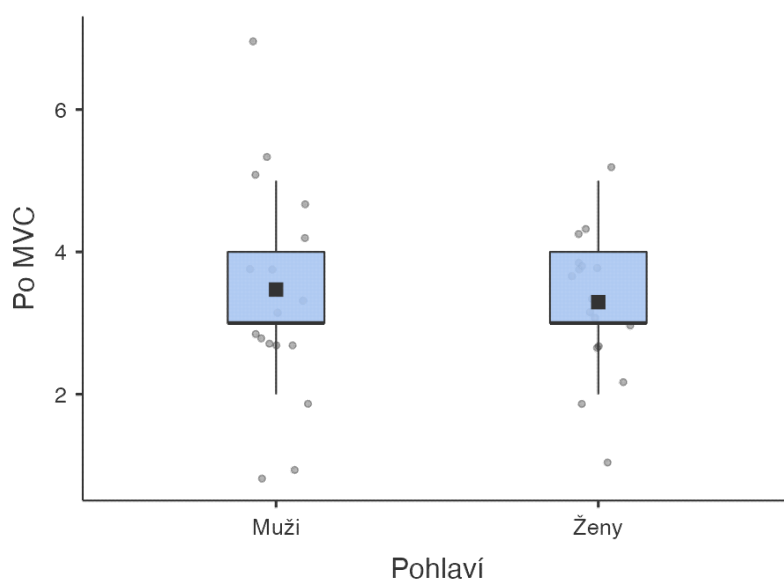
RPF – experimentální sezení	Muži	Ženy	P (Efekt Pohlaví)
Před MVC	1.94 ± 1.75	2.71 ± 1.36	$p = 0.164$
Po MVC	3.47 ± 1.51	3.29 ± 0.99	$p = 0.689$
Po 4 minutách sedu s mentální zátěží	3.29 ± 1.4	3.88 ± 1.11	$p = 0.185$

Tabulka 9. Efekt pohlaví na škálu vnímané únavy během experimentálního sezení.

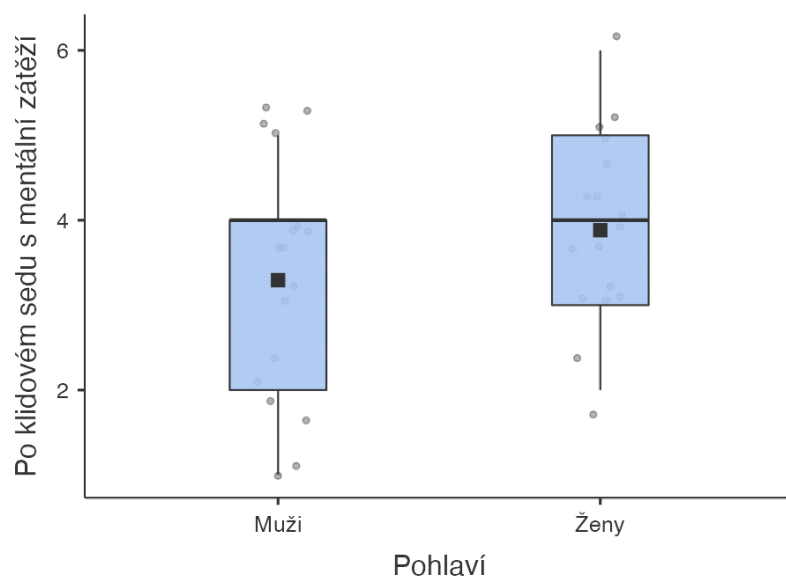
RPF = škála vnímané únavy; MVC = maximální volní kontrakce



Graf 8. Grafické znázornění rozdělení dat pro hodnoty škály vnímané únavy (RPF) před měřením MVC u mužů a žen během experimentálního sezení.



Graf 9. Grafické znázornění rozdělení dat pro hodnoty škály vnímané únavy (RPF) po měření MVC u mužů a žen během experimentálního sezení.



Graf 10. Grafické znázornění rozdělení dat pro hodnoty škály vnímané únavy (RPF) po čtyřminutovém klidovém sedu se současnou mentální zátěží u mužů a žen během experimentálního sezení.

6 Diskuze

Cílem studie řešené v rámci této disertační práce bylo zjistit, zda během izometrické kontrakce m. biceps brachii nedominantní horní končetiny o intenzitě 40 % MVC do selhání:

- 1) má těžká mentální zátěž větší vliv na svalovou unavitelnost u žen než u mužů (*interakční efekt pohlaví $\times$ sezení*),
- 2) bude u obou pohlaví pozorována vyšší svalová unavitelnost během sezení s těžkou mentální zátěží než u kontrolního sezení (*efekt sezení*),
- 3) budou pozorovány pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti během kontrolního sezení i sezení s těžkou mentální zátěží (*efekt pohlaví*).

Výsledky ukazují, že během izometrické kontrakce m. biceps brachii nedominantní horní končetiny o intenzitě 40 % MVC do selhání:

- 1) těžká mentální zátěž nemá větší vliv na svalovou unavitelnost u žen než u mužů – nebyl pozorován statisticky významný *interakční efekt pohlaví $\times$ sezení* pro parametr čas do selhání ani pokles mediánu frekvence,
- 2) těžká mentální zátěž nezpůsobila vůči kontrolnímu sezení zvýšení svalové unavitelnosti u mužů ani u žen – u jednotlivých pohlaví nebyl pozorován statisticky významný *efekt sezení* pro parametr čas do selhání ani pokles mediánu frekvence,
- 3) u žen byl pozorován na obou sezeních statisticky významně delší čas do selhání než u mužů, ale nikoliv významnější pokles mediánu frekvence – u obou sezení byl pozorován statisticky významný *efekt pohlaví* pro parametr čas do selhání a nebyl pozorován statisticky významný *efekt pohlaví* pro parametr pokles mediánu frekvence.

Na základě identifikace mezer v literatuře (*knowledge gaps*) a urgenci předešlých publikací na nutnost výzkumu vlivu mentální zátěže na svalovou unavitelnost u kontrakcí střední intenzity se zřetelem na pohlavní rozdíly (Hunter, 2014, 2024) byla v naší studii použita intenzita 40 % MVC, kterou lze klasifikovat jako středně náročnou (*moderate*) (Mehta & Agnew, 2012). Naše hypotézy vycházely ze závěrů předchozích studií,

kde během izometrické kontrakce nižší intenzity za současné těžké mentální zátěže byl u žen pozorován významně větší nárůst svalové únavy než u mužů (Keller-Ross et al., 2014; Pereira et al., 2015; Yoon et al., 2009).

V této studii nebyl pozorován statisticky významný *interakční efekt pohlaví × sezení* – obě pohlaví reagovala na těžkou mentální zátěž během izometrické kontrakce o intenzitě 40 % MVC podobně, a to z hlediska TTF i procentuálního poklesu MDF. Nebyl pozorován ani žádný *vliv sezení*, protože těžká mentální zátěž nezpůsobila žádné statisticky významné změny v TTF ani procentuálním poklesu MDF u jednotlivých pohlaví. Na druhou stranu jsme pozorovali *vliv pohlaví* na TTF, protože ženy vykazovaly významně delší TTF než muži na obou sezeních, přestože procentuální pokles MDF byl u obou pohlaví podobný.

6.1 Diskuze k hypotéze č. 1 a 2

H1: „*Předpokládáme, že těžká mentální zátěž způsobí větší zkrácení času do selhání u žen než u mužů během izometrické kontrakce m. biceps brachii nedominantní horní končetiny při intenzitě 40 % MVC do selhání.*“

H2: „*Předpokládáme, že těžká mentální zátěž způsobí výraznější pokles mediánu frekvence EMG signálu u žen než u mužů během izometrické kontrakce m. biceps brachii nedominantní horní končetiny při intenzitě 40 % MVC do selhání.*“

Hypotéza č. 1 a 2 byla zamítnuta, poněvadž z hlediska svalové unavitelnosti (TTF a procentuální pokles MDF) reagovaly obě pohlaví na těžkou mentální zátěž (odečítání čísla 13 od libovolného čtyřciferného čísla) podobně – nebyl pozorován statisticky významný *interakční efekt pohlaví × sezení*.

Celkem tři studie (Keller-Ross et al., 2014; Pereira et al., 2015; Yoon et al., 2009) sledovaly *interakční efekt pohlaví × sezení* a použily metodiku studie podobnou té naší – izometrická kontrakce do selhání m. biceps brachii v pozici 90° flexe v lokti a 90° flexe v rameni a mentální zátěž ve formě odečítání čísla 13 od libovolného čtyřciferného čísla (tedy zátěž klasifikovaná jako „těžká“ – zvyšující úroveň stresu). Všechny tři výše zmíněné studie zvolily izometrickou kontrakci o nízké intenzitě (20 % MVC) a ve všech třech byl pozorován významnější efekt mentální zátěže na ženy než na muže, přičemž hodnotícím kritériem byl čas do selhání (TTF). Dvě studie (Keller-Ross et al.,

2014; Yoon et al., 2009) použily k měření – v souladu s touto disertační prací – nedominantní paži, přičemž průměrný věk výzkumného souboru byl také podobný. Autoři Pereira et al. (2015) naopak vybrali do výzkumného souboru starší dospělé (*older adults*) a zvolili k měření dominantní horní končetinu.

Jak již bylo zmíněno v teoretické části této práce (především kap. 2.3.1), v kontextu účinku mentální zátěže na svalovou unavitelnost je důležité, zda daná mentální zátěž zvyšuje či nezvyšuje úroveň stresu. Pokud úroveň stresu zvyšuje, hovoříme pak o „těžké“ mentální zátěži, a naopak pokud nezvyšuje, jedná se o „lehkou“ mentální zátěž – tuto terminologii jsme se rozhodli napříč prací dodržovat z důvodu snadného porovnání výsledků s předchozími studiemi na toto téma. Studie autorů Yoon et al. (2009) ukazuje, že těžká mentální zátěž (odečítání čísla 13 od libovolného čtyřciferného čísla) zvyšuje úroveň stresu u mužů i u žen, kdežto lehká mentální zátěž (odečítání čísla 1 od čísla 50 či 100) úroveň stresu nezvyšuje, a tedy na svalovou unavitelnost (ani pohlavní rozdíly) vliv nepozorujeme. Úroveň stresu lze objektivizovat množstvím kortizolu ve slinách (*salivary cortisol levels*), vizuální analogovou škálou úzkosti (*anxiety VAS*) anebo například pomocí dotazníku STAI (*State-Trait Anxiety Inventory*). Ke stejnému závěru se přiklání také autoři Keller-Ross et al. (2014), kteří během sezení s těžkou mentální zátěží pozorovali vyšší aktivitu sympatiku (zvýšení středního arteriálního tlaku – MAP a srdeční frekvence – HR) než během kontrolního sezení. Mehta & Agnew (2012) pozorovali se současnou těžkou mentální zátěží nižší variabilitu srdeční frekvence (HRV), což značí vyšší aktivitu sympatiku než za kontrolních podmínek. Ve studii Yoon et al. (2009) hlásila obě pohlaví zvýšení úrovně stresu po těžké mentální zátěži (tedy ještě před tím, než začala samotná izometrická kontrakce se současnou mentální zátěží) – u mužů a u žen tedy došlo ke statisticky významnému nárůstu vizuální analogové škály úzkosti, a to bez pohlavních rozdílů, přičemž ženy navíc hlásily významnější subjektivní zvýšení fyziologické odezvy na samotnou mentální zátěž (měřeno pomocí vizuální analogové škály stresu – *stress VAS*) než muži. Tyto výsledky spolu s dalšími studiemi (Earle et al., 1999; Kudielka et al., 2004) naznačují, že samotná mentální zátěž vyvolávající stres může mít z hlediska fyziologické odezvy významnější efekt na ženy než na muže – zejména na nárůst srdeční frekvence. Kortizol, jakožto glukokortikoid regulovaný hypothalamo-hypofýzo-nadledvinovou osou (*HPA axis*), je jedním z ukazatelů úrovně stresu (Kirschbaum & Hellhammer; 1994) a ve studii Yoon et al.

(2009) bylo pozorováno jeho zvýšené množství ve slinách (bez pohlavních rozdílů) během celého měření se současnou těžkou mentální zátěží ve srovnání s kontrolním měřením – roli by zde mohlo hrát i očekávání těžké mentální zátěže na daném měření (Christou et al., 2004; Kirschbaum et al., 1992), protože účastníci věděli (podobně jako v naší studii), zda ten den podstoupí experimentální či kontrolní měření. Přestože ve studii Yoon et al. (2009) autoři pozorovali pohlavní rozdíly v TTF během současné těžké mentální zátěže, stran množství kortizolu ve slinách pohlavní rozdíly pozorovány nebyly, neboť u obou pohlaví došlo k podobnému zvýšení kortizolu – aktivita HPA osy tedy pravděpodobně neměla vliv na pohlavní rozdíly v TTF.

Jako možnou příčinu většího vlivu těžké mentální zátěže na TTF u žen než u mužů (pozorované ve studiích s intenzitou 20 % MVC – Keller-Ross et al., 2014; Pereira et al., 2015; Yoon et al., 2009) diskutují Keller-Ross et al. (2014) rozdíly v počáteční síle (*initial strength*) jednotlivých účastníků (tj. větší vliv těžké mentální zátěže na TTF byl pozorován u slabších jedinců než u těch silnějších, a to bez ohledu na pohlaví) (Keller-Ross et al., 2014) – v souladu s tímto tvrzením jsou pak výsledky studie Yoon et al. (2009), kdy byla nižší počáteční síla u žen spojena s významnějším efektem těžké mentální zátěže na svalovou unavitelnost, přičemž předikovala 21 % této změny. V naší studii jsme se nezaměřili na výběr účastníků s totožnou silovou vybaveností (*strength-matched participants*), jak to učinili jiní autoři v některých studiích na toto téma (Hunter, 2001, 2004b, 2009). Předpokládáme tedy, že v našem případě byli muži přirozeně silnější, což obvykle bývají (Hunter, 2024). Do souvislosti mezi nižší svalovou silou a větším vlivem těžké mentální zátěže na TTF (pozorovanou např. u Keller-Ross et al., 2014 nebo Yoon et al., 2009) je nutné brát pravděpodobnou zvýšenou aktivaci sympatiku (a tedy zvýšení úrovně stresu) za současné těžké mentální zátěže (Keller-Ross et al., 2014; Yoon et al., 2009). Pohlavní rozdíly ve vlivu těžké mentální zátěže na svalovou unavitelnost mohou být také závislé na sledované svalové skupině, neboť nebyly zjištěny žádné rozdíly mezi pohlavími při současné těžké mentální zátěži během izometrické kontrakce do selhání v dorziflexorech kotníku o intenzitě 30 % MVC, přičemž naopak u flexorů lokte rozdíly přítomny byly (Vanden-Noven et al., 2017). Tuto skutečnost lze pravděpodobně vysvětlit pohlavními rozdíly v procentuálním zastoupení svalových vláken typu I a typu II v dorziflexorech kotníku (Avin et al., 2010). Zvýšená aktivace sympatiku ovlivňuje aktivitu svalových vláken typu I a II odlišně –

sympatikus kontraktilní sílu svalových vláken typu II pravděpodobně zvyšuje, ale sílu vláken typu I snižuje (spolu s rychlostí relaxace), což způsobí, že svaly s proporcionálně větší plochou průřezu vláken typu I jsou unavitelnější než svaly s proporcionálně větší plochou průřezu vláken typu II (Keller-Ross et al., 2014; Porter et al., 2002; Passatore & Roatta, 2006; Roatta et al., 2008; Roepstorff et al., 2006). Při zvýšené aktivitě sympatiku byla pomalejší rychlost relaxace u žen vůči mužům pozorována u flexorů lokte a extenzorů kolene (Hunter, 2006a; Wust et al., 2008), což odpovídá výše zmíněným proporčním rozdílům v zastoupení svalových vláken typu I a II v rámci daných svalů, neboť konkrétně m. biceps brachii u mužů má proporcionálně větší plochu průřezu svalových vláken typu II než u žen (Miller et al., 1993), což může předurčovat ženy k větším změnám ve svalové únavě při současné aktivaci sympatiku – například při současné těžké mentální zátěži zvyšující úroveň stresu (Yoon et al., 2009). V souladu se závěry studií Keller et al. (2011) a Kuchinad et al. (2004) a s výše zmíněným vlivem sympatiku na aktivitu vláken I a II typu byla i ve studii Keller-Ross et al. (2014) pozorována za kontrolních podmínek pomalejší míra relaxace u žen než u mužů, nicméně během sezení s těžkou mentální zátěží nebyly vůči kontrolnímu sezení pozorovány u míry relaxace žádné změny – zkrácení TTF během sezení s těžkou mentální zátěží tedy pravděpodobně není způsobeno sympatickou modulací aktivity svalových vláken I a II typu.

Zvýšená svalová unavitelnost při současné těžké mentální zátěži pozorovaná v předchozích studiích (Keller-Ross et al., 2014; Pereira et al., 2015; Yoon et al., 2009) může být způsobena také rozdíly v prokrvení daných svalů, neboť to se u silnějších a slabších jedinců liší – ženy, které jsou obvykle slabší než muži, vykazují za kontrolních podmínek (tedy bez současné těžké mentální zátěže anebo s lehkou mentální zátěží – zkrátka bez zvýšené hladiny stresu) vyšší prokrvení některých svalů během submaximálních kontrakcí a pomalejší nárůst středního arteriálního tlaku (MAP) (Yoon et al., 2009), což může vést k pomalejší akumulaci metabolitů a následně ke snížení svalové unavitelnosti (Hunter, 2006a; Hunter, 2014; Hunter, 2009; Senefeld et al., 2018). Zvýšená svalová unavitelnost za současné těžké mentální zátěže byla u žen pozorována ve studii Yoon et al. (2009), kde zároveň u žen došlo k významnějšímu zvýšení aktivity sympatiku (objektivizované pomocí MAP a srdeční frekvence) než u mužů. Za možnou příčinu pohlavních rozdílů ve svalové unavitelnosti se současnou těžkou mentální zátěží

uvádí autoři Keller-Ross et al. (2014) zvýšenou aktivitu sympatiku (v důsledku těžké mentální zátěže, resp. mentální zátěže zvyšující úroveň stresu), která může způsobit ve slabších svalech mohutnější vazokonstrikci a zvýšit tak svalovou unavitelnost.

Během samotné izometrické kontrakce dochází k mechanické kompresi, to souvisí s akumulací metabolitů, což může spolu se stimulací β -2 adrenergních receptorů způsobit vazodilataci (Joyner et al., 2000). U žen v brachiální tepně kromě toho pozorujeme sníženou vazokonstrikční odpověď na α -adrenergní stimulaci (krevní průtok tedy zůstává vyšší) (Ettinger et al., 1996) a zároveň během izometrických kontrakcí ženy vykazují nižší MSNA (*muscle sympathetic nerve activity*), což může opět snižovat vazokonstrikci (Kneale et al., 2000). Těžká mentální zátěž však může narušit rovnováhu mezi vazokonstrikcí a vazodilatací tím, že zvýší vazokonstrikci zejména ve slabších svalech, čímž pak přispívá k vyšší svalové unavitelnosti (Thomas et al., 2004) – na tomto mechanismu má podíl zejména aktivita sympatiku, která může mít u žen větší vliv na prokrvení daného svalu než u mužů, neboť za kontrolních podmínek (bez mentální zátěže) u žen pozorujeme prokrvení vyšší (Yoon et al., 2009). Z hlediska izolovaně prováděné těžké mentální zátěže (ve formě stresujícího matematického úkolu, tedy např. odečítání čísla 13 od libovolného čtyřciferného čísla) můžeme pozorovat v horních končetinách výraznější vazodilataci založenou na podobných mechanismech jako u běžné svalové kontrakce (Halliwill et al., 1997; Joyner et al., 2000), nicméně existují i studie v rozporu s tímto tvrzením (Wasmud et al., 2002) – zvýšené prokrvení během těžké mentální zátěže by tedy logicky mohlo spíše únavu zpomalit, nicméně tyto interakce nejsou dostatečně prozkoumány a důležitější bude zřejmě rovnováha mezi vazokonstrikcí a vazodilatací (Yoon et al., 2009).

Mentální zátěž může mít odlišný vliv na svalovou unavitelnost v rámci specifických typů kontrakce – svalová unavitelnost byla zvýšena během izometrických kontrakcí bicepsu brachii o nízké intenzitě (Yoon et al., 2009; Keller-Ross et al., 2014), ale např. během přerušovaných izometrických kontrakcí abduktorů ramene byla unavitelnost nejvíce zvýšena během kontrakcí střední intenzity, méně během kontrakcí nízké intenzity a během kontrakcí vysoké intenzity nebyla zvýšena unavitelnost vůbec (Mehta & Agnew, 2012). Autoři Amoozi et al. (2025) sledovali vliv mentální zátěže (Stroopův test) na čas do selhání během jízdy na bicyklovém ergometru a zaznamenali na experimentálním měření (s mentální zátěží) významně kratší čas do selhání

než na měření kontrolním, přičemž u žen byl v tomto případě se současnou mentální zátěží pozorován delší čas do selhání než u mužů – zároveň však byla u žen na experimentálním měření zaznamenána vyšší HR než na kontrolní, kdežto u mužů nikoliv, což je v rozporu se závěry předešlých studií, které naopak zvýšené aktivitě sympatiku přisuzují větší efekt mentální zátěže (v tomto případě se však jednalo o náročnou matematickou úlohu a nikoliv Stroopův test) na ženy než na muže (Yoon et al., 2009; Keller-Ross et al., 2014).

Yoon et al. (2009) se v diskuzní části jejich studie rovněž zamýšlí nad tím, co za současné těžké mentální zátěže způsobilo významnější snížení TTF u žen než u mužů (a proč tomu tak nebylo u lehké mentální zátěže) – spekuluje se o pohlavních rozdílech ve funkčnosti nervových okruhů za současné mentální zátěže, zejména se pak jedná o aktivitu přední cingulární kůry (*ACC – anterior cingulate cortex*) a její odlišnou aktivitu u mužů a u žen na regulaci kardiovaskulární odezvy těla při fyzické a mentální zátěži (Bell et al., 2006; Wang et al., 2007; Wong et al., 2007). Naopak při lehké mentální zátěži, kdy se na rozdíl od té těžké nezvyšuje úroveň stresu (*level of stress*), funguje pravděpodobně samotná mentální zátěž spíše jako rozptýlení (*distraction*) – v tomto případě konkrétně autoři Yoon et al. (2009) nepozorovali pohlavní rozdíly ve snížení TTF.

6.2 Diskuze k hypotéze č. 3 a 4

H3: *„Předpokládáme, že těžká mentální zátěž povede k významnému zkrácení času do selhání ve srovnání s kontrolní podmínkou bez mentální zátěže, a to u žen i u mužů.“*

H4: *„Předpokládáme, že těžká mentální zátěž povede k významnějšímu poklesu mediánu frekvence EMG signálu ve srovnání s kontrolní podmínkou bez mentální zátěže, a to u žen i u mužů.“*

Hypotéza č. 3 a 4 byla zamítnuta, poněvadž z hlediska svalové unavitelnosti (TTF a procentuální pokles MDF) nedošlo u mužů ani u žen během sezení s těžkou mentální zátěží (odečítání čísla 13 od libovolného čtyřciferného čísla) ke snížení TTF či rozdílu v procentuálním poklesu MDF – u mužů ani u žen nebyl pozorován statisticky významný efekt sezení.

Ve studii Mehta & Agnew (2012) autoři sledovali vliv mentální zátěže na přerušované izometrické kontrakce abduktorů ramene o intenzitě 15 %, 35 % a 55 %. Mentální zátěž v jejich případě představovala náročná matematická úloha (násobení náhodného jednociferného nebo dvouciferného čísla číslem 3), která dle SWAT dotazníku (*Subjective Workload Assessment Technique Questionnaire*) zvyšovala úroveň stresu. Během experimentálních sezení bylo ve výše zmíněné studii pozorováno statisticky významně kratší TTF u všech intenzit, přičemž největší efekt byl zaznamenán u přerušované izometrické kontrakce střední intenzity (35 %) – zároveň se snížením TTF došlo během experimentálních sezení k rychlejšímu snižování síly, což je jeden z indikátorů únavy (Vøllestad et al., 1997). V rozporu se závěry studie Mehta & Agnew (2012) stojí výsledky námi prováděného výzkumu, kde jsme bez ohledu na pohlaví nepozorovali statisticky významně vyšší svalovou unavitelnost se současnou těžkou mentální zátěží, naopak jsme u obou pohlaví naměřili časy do selhání nepatrně vyšší než na kontrolním měření – u mužů o 4.9 % a u žen o 10.3 %. V našem případě se však jednalo o měření m. biceps brachii, kdežto Mehta & Agnew (2012) sledovali abduktory ramene – histologické složení těchto svalových skupin se může lišit, což následně může mít vliv na jejich svalovou unavitelnost.

Volní aktivace (*voluntary activation* – *VA*) představuje schopnost motorické kůry nabudit sval k produkci maximální síly (Hunter, 2014; Keller-Ross, 2014). Volní aktivace se u mužů a žen obecně neliší (Hunter, 2024), tudíž jí zřejmě nemůžeme připisovat podíl na pohlavních rozdílech ve svalové unavitelnosti, protože obě pohlaví jsou schopna aktivovat podobné množství svalů během kontrakce – a to bez ohledu na sílu jedince (Keller-Ross a kol., 2014). Současně nepozorujeme mezi pohlavími rozdíly ve vzrušivosti (*excitability*) CNS během kontrolního sezení i sezení s těžkou mentální zátěží – u mužů i u žen dochází během izometrické kontrakce s těžkou mentální zátěží i bez ní k podobnému zvýšení elektrické aktivity (ve výše zmíněné studii objektivizováno pomocí MEP – motorických evokovaných potenciálů). Těžká mentální zátěž během fyzické aktivity však může – bez ohledu na pohlaví – urychlit ztrátu míry nervového signálu do svalu (*neural drive*) v porovnání s fyzickou aktivitou bez mentální zátěže, což znemožňuje aktivaci svalů na požadovanou úroveň, a tím zvyšuje svalovou unavitelnost (Lorist et al., 2002, Keller-Ross et al., 2014). Navzdory předchozím studiím, které pozorovaly zkrácení TTF během izometrických kontrakcí se současnou těžkou

mentální zátěží bez ohledu na pohlaví (Yoon et al., 2009; Keller-Ross et al., 2014), nedošlo v naší studii ke statisticky významnému zkrácení TTF (efekt sezení) během experimentálního sezení vůči kontrolnímu u mužů ani u žen. Podíl na této skutečnosti může mít zejména individualita účastníků, kdy námi použitá těžká mentální zátěž (odečítání čísla 13 od libovolného čtyřciferného čísla), která např. ve studii Yoon et al. (2009) i Keller-Ross et al. (2014) zvýšila úroveň stresu účastníků a tím (prostřednictvím aktivity sympatického nervového systému) může za určitých podmínek zvyšovat rovněž svalovou unavitelnost (Hunter, 2014), nemusí být pro každého účastníka náročná natolik, aby hladinu stresu skutečně zvýšila a naopak může působit pouze jako rozptýlení (*distraction*). Rozptýlení na svalovou unavitelnost vliv mít nemusí (Yoon et al., 2009), jelikož lehká mentální zátěž (resp. mentální zátěž nezvyšující míru stresu) neovlivnila svalovou unavitelnost u mužů ani žen (Keller-Ross, 2014; Yoon et al., 2009).

Autoři Yoon et al. (2009) ve své studii pozorovali překvapivě nižší EMG aktivitu během experimentálního sezení (tj. sezení s těžkou mentální zátěží) než během kontrolního sezení, a to bez ohledu na pohlaví – nižší EMG korelovalo se škálou vnímaného úsilí (*rate of perceived effort – RPE*), která byla během experimentálního sezení průběžně nižší než u kontrolního, přestože TTF bylo na experimentální sezení kratší a ukazatele aktivity sympatiku vůči kontrolnímu zvýšené. Jako možnou příčinu nižšího EMG pozorovaného během sezení se současnou těžkou mentální zátěží autoři uvádí například možný vyšší inhibiční feedback na základě stimulace aferentů III a IV typu (Martin et al., 2006) anebo odlišné chování neuromodulátorů (např. serotonin a norepinefrin) mozkové kůry a páteřní míchy (Meeusen et al., 2006; Reikling et al., 2000). Inhibici signálů z mozkové kůry lze v kontextu EMG objektivizovat pomocí tzv. tiché periody (*silent period – SP*) (Keller-Ross et al., 2014; Senefeld et al., 2018). Autoři Keller-Ross et al. (2014) během sezení s těžkou mentální zátěží pozorovali prodlouženou SP vůči kontrolnímu sezení, a to bez ohledu na pohlaví, nicméně elektrickou aktivitu mozkové kůry mohlo snižovat už samotné očekávání mentální zátěže, přičemž po izometrické kontrakci se současnou těžkou mentální zátěží (resp. po selhání) zůstávala SP po určitou dobu významně vyšší než po izometrické kontrakci bez těžké mentální zátěže (tedy po kontrolním sezení). Pohlavní rozdíly během izometrické kontrakce extenzorů kolene nebyly stran SP pozorovány ani ve studii Senefeld et al. (2018). Navzdory kratším TTF během

přerušovaných izometrických kontrakcí abduktorů ramene o intenzitě 15 %, 35 % a 55 % ve studii Mehta & Agnew (2012) nebyly stran EMG (v tomto případě *mean power frequency*) pozorovány během sezení s těžkou mentální zátěží žádné změny vůči kontrolnímu měření – tyto výsledky jsou v souladu s naší studií, kde jsme použili k objektivizaci svalové únavy medián frekvence (MDF) a nepozorovali jsme během experimentálního ani kontrolního sezení změny v MDF (bez ohledu na pohlaví). Změny ve frekvenčních charakteristikách jsou obecně velmi často používané parametry pro objektivizaci svalové unavitelnosti (De Luca et al., 1997). Výše zmíněné výsledky naznačují, že na konci fyzické zátěže (tedy v momentě selhání – *task failure*) bylo dosaženo podobné míry únavy během kontrolních i experimentálních sezení, tedy bez mentální zátěže i s ní (Mehta & Agnew, 2012).

Ve studii Keller-Ross et al. (2014) se autoři domnívají, že více než pohlaví má na rozdíly ve svalové unavitelnosti (tj. především zkrácení TTF) za současné těžké mentální zátěže (tj. experimentální sezení) vliv síla daného jedince. Pozorovali také podobné relativní snížení síly během experimentálního i kontrolního sezení u obou pohlaví, a to navzdory kratšímu TTF na experimentálním sezení – samotné snížení TTF tedy pravděpodobně nebylo pozorováno na základě předčasného ukončení izometrické zátěže. Snížení TTF na sezení s těžkou mentální zátěží nebylo v jejich případě způsobeno ani rozptýlením (*distraction*), neboť při izometrické kontrakci se současnou lehkou mentální zátěží TTF ovlivněno nebylo u žen ani u mužů. Keller-Ross et al. (2014) dále uvádí, že při seřazení všech účastníků studie (bez ohledu na pohlaví) od nejsilnějšího po nejslabší byl u nejsilnějších jedinců pozorován nejmenší rozdíl v TTF v rámci jednotlivých sezení a u nejslabších tomu bylo naopak – z toho pak usuzují, že čím silnější jedinec je, tím méně ho při izometrické kontrakci ovlivní těžká mentální zátěž (resp. mentální zátěž zvyšující úroveň stresu).

V otázce vlivu mentální zátěže na svalovou unavitelnost je nutno zohlednit také faktor věku účastníků, neboť u mladších a starších dospělých můžeme pozorovat odlišné výsledky. Zatímco u mladších dospělých byla během izometrické kontrakce pozorována významně vyšší svalová unavitelnost pouze za současné těžké mentální zátěže – a to většinou bez ohledu na pohlaví (Yoon et al., 2009; Keller-Ross et al., 2014; Mehta & Agnew, 2012), u starších dospělých byla u žen zaznamenána vyšší svalová unavitelnost s lehkou i těžkou mentální zátěží, přičemž u mužů rozdíly nebyly pozorovány vůbec

(Pereira et al., 2015). Podobné výsledky jako u starších mužů ve studii Pereira et al. (2015) jsme pozorovali i v této studii, a to u mužů i u žen, nicméně v našem případě se jednalo o mladší dospělé. Jak již bylo řečeno, těžká mentální zátěž může zvyšovat úroveň stresu (Kajantie & Phillips, 2006), což je měřitelné pomocí indikátorů aktivity sympatiku – často se využívá např. MAP a HR, což byl i případ studie autorů Vanden Noven et al. (2014), kteří pozorovali u starších dospělých významnější nárůst aktivity sympatiku než u mladších dospělých (bez ohledu na pohlaví) – a to během izometrických kontrakcí dorziflexorů kotníku o intenzitě 5 % i 30 % MVC, což autoři klasifikují jako zátěž nízké a střední intenzity.

6.3 Diskuze k hypotéze č. 5 a 6

H5: *„Předpokládáme, že u žen a mužů existují rozdíly v čase do selhání při izometrické kontrakci m. biceps brachii nedominantní horní končetiny, a to jak v podmínkách s mentální zátěží, tak bez ní.“*

H6: *„Předpokládáme, že u žen a mužů existují rozdíly v poklesu mediánu frekvence EMG signálu při izometrické kontrakci m. biceps brachii nedominantní horní končetiny, a to jak v podmínkách s mentální zátěží, tak bez ní.“*

Stran hypotézy č. 5 a 6 jsme z hlediska svalové unavitelnosti pozorovali rozkol mezi výsledky času do selhání (TTF) a procentuálním poklesu MDF. U TTF byl pozorován statisticky významný *efekt pohlaví* ve prospěch žen, přičemž procentuální pokles MDF byl u obou pohlaví podobný.

Čas do selhání během kontrolního sezení byl u žen o 47.9 % delší než u mužů a během experimentálního sezení o 56.4 % delší než u mužů. Naše výsledky jsou v souladu s předchozími studiemi, které uváděly delší TTF u žen než u mužů během izometrických a přerušovaných izometrických kontrakcí při stejné relativní intenzitě u různých svalových skupin, včetně flexorů lokte (Hunter et al., 2014) – což byla take námi sledovaná svalová skupina. Na druhou stranu u extenzorů lokte a dorziflexorů kotníku při stejné relativní intenzitě nebyly u TTF pozorovány žádné rozdíly (Dearth et al., 2010; Kent-Braun et al., 2002). Rozdíly mezi pohlavími závisí na intenzitě kontrakce – se zvyšující se intenzitou kontrakce se pohlavní rozdíly obvykle snižují (Hunter, 2014). Možným důvodem pohlavních rozdílů ve svalové unavitelnosti u jednotlivých svalových

skupin může být odlišné procentuální zastoupení svalových vláken typu I a II anebo také rozdíly v krevním zásobení daného svalu (Hunter, 2018). Roli může hrát i síla jedince (jak bylo zjištěno u izometrické kontrakce se současnou těžkou mentální zátěží), protože u mužů a žen se shodnou silovou vybaveností (*strength-matched participants*) nebyly u izometrických kontrakcí pozorovány žádné rozdíly v TTF (Hunter, 2004b) – nicméně u přerušované izometrické kontrakce však ženy, které byly stejně silné jako muži, vydržely téměř třikrát déle (Hunter et al., 2004c). Pohlavní rozdíly v TTF během izometrické kontrakce nízké intenzity mohou být také zapříčiněny mechanismy spojenými s menší absolutní silou (pokud je sledovaná skupina žen slabší než skupina mužů), kterou musí ženy vyvinout během kontrakce o určité normalizované intenzitě (např. 30 % MVC), což u žen vůči mužům následně způsobí menší snížení tepového objemu (*stroke volume*) a pomalejší akumulaci metabolitů (Hunter, 2004b, 2009; Wright et al., 1999) – tyto rozdíly se však mohou za přítomnosti mentální zátěže snižovat (Yoon et al., 2009). Jak již bylo zmíněno, vliv pohlaví na svalovou unavitelnost (nehledě na mentální zátěž) během izometrické kontrakce je mimo jiné závislý také na sledovaném svalu či svalové skupině (viz Tabulka 1) – zdá se, že primární roli zde hraje odlišné složení daného svalu z hlediska svalových vláken typu I a II (viz Obrázek 1), neboť například u plantárních flexorů (což jsou svaly s minimálními pohlavními rozdíly v zastoupení jednotlivých typů svalových vláken) nebyly pozorovány pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti (Coggan et al., 1995; Larsson et al., 2006; Staron et al., 2000).

Za kontrolních podmínek (tedy v našem případě bez mentální zátěže) během izometrické kontrakce existují pohlavní rozdíly v odezvě kardiovaskulárního systému, a to ve prospěch žen – tyto rozdíly však vymizí v případě, že budeme pozorovat stejně silné muže i ženy (Hunter, 2001, 2004b). Kardiovaskulární odezvy během izometrické kontrakce jsou regulovány pomocí feedbacku z aferentních vláken III a IV, a to v návaznosti na akumulaci metabolitů. Na regulaci se podílí také centrální příkaz (*central command*), což je paralelní aktivace nervových okruhů v mozgovém kmeni a páteřní míše, která kontroluje motorickou, respirační a kardiovaskulární aktivitu (Fisher & White, 1999; Gandevia & Hobbs, 1990; Hayes et al., 2002; Rowell & O’Leary, 1990; Wong et al., 2007). Jak již bylo zmíněno, během izometrické kontrakce bez mentální zátěže zvyšující stres pozorujeme u žen nižší kardiovaskulární odezvu než u mužů (Ettinger et al., 1996; Wong et al., 2007) – konkrétně nižší zvýšení MAP a nižší srdeční frekvenci,

což jsou dle Callister et al. (1992) parametry odrážející míru aktivity sympatiku. V důsledku této skutečnosti pak pravděpodobně za určitých podmínek u žen sledujeme i delší TTF než u mužů (Hunter & Enoka, 2001; Yoon et al., 2007, 2009). Regulace sympatiku je u mužů vůči ženám tedy rozdílná ve smyslu nižší excitace sympatiku, přičemž určitou roli mohou v tomto kontextu hrát estrogeny (Ettinger et al., 1996; Hayes et al., 2002; Wong et al., 2007). Naopak ve studii Yoon et al. (2009) nebyla pozorována korelace mezi fází menstruačního cyklu u žen (a tedy akutní změny ve fluktuaci estrogenů) a TTF či změnami v kardiovaskulární odezvě – v tomto případě tedy bude vliv estrogenů na pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti během těžké mentální zátěže pravděpodobně spíše marginální.

Pohlaví je významným faktorem ovlivňujícím svalovou unavitelnost i během dynamických aktivit, přičemž v tomto případě není však míra jeho vlivu dostatečně prozkoumána (Gomes et al., 2021). Proto autoři Gomes et al. (2021) sledovali pohlavní rozdíly u mladých jedinců během koncentrické extenze kolene s využitím pomalé, středně rychlé (*moderate*) a rychlé kontrakce (60, 180 a 300 stupňů za sekundu), přičemž k hodnocení použili procentuální změnu v MVC. Pohlavní rozdíly byly pozorovány pouze během nejrychlejší kontrakce, a to ve prospěch mužů – u žen bylo zaznamenána statisticky významnější snížení MVC, přičemž tento závěr podporují i předešlé studie zkoumající vliv pohlaví na svalovou unavitelnost u pomalých a středně rychlých koncentrických kontrakcí (De Ste Croix et al., 2009; Stock et al., 2013; Wretling et al., 1998). Ve studii Yoon et al. (2015) však autoři pozorovali pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti ve prospěch žen během pomalé kontrakce (60 stupňů na sekund) nízké intenzity (20 % MVC) – sledovány byly nicméně flexory lokte, nikoliv extenzory kolene jako u Gomes et al. (2021). Flexory lokte pozorovali také autoři Senefeld et al. (2013), tentokrát však byli účastníci instruováni k maximální možné rychlosti kontrakce, přičemž použitá zátěž se rovnala ekvivalentu 20 % MVC – výsledky této studie nepoukázaly na pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti. Za pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti během dynamických kontrakcí jsou zodpovědné pravděpodobně kontraktilní mechanismy, neboť v rámci volní aktivace nebyly pozorovány žádné rozdíly mezi pohlavími (Hunter, 2016a).

6.4 Diskuze k hypotéze č. 7

H7: “*Předpokládáme, že po čtyřminutovém klidovém sedu spojeném s těžkou mentální zátěží bude u obou pohlaví zaznamenán významný nárůst subjektivně vnímané únavy.*”

Z hlediska aplikace škály vnímané únavy (RPF) na specifické situace, kdy daný jedinec pocítuje únavu, narážíme na terminologická úskalí definovaná v kapitole 2.1.2. Pokud bychom měli postupovat logicky dle rozsáhlé práce autorů Behrens et al. (2023), změna únavy pozorovaná během samotného MVC (tedy změna hodnot RPF před MVC a po MVC) by znamenala změnu ve *vnímané motorické únavě*, to by platilo pro kontrolní i experimentální sezení – únava naměřená po MVC byla zvýšena pouze v důsledku samostatné fyzické zátěže. V případě sezení s těžkou mentální zátěží, tj. experimentálního sezení, by však změna hodnot RPF naměřených v bodě po MVC a po čtyřminutovém klidovém sedu s těžkou mentální zátěží již představovala jiný typ únavy, a to *vnímanou kognitivní únavu* (také označovaná jako únava mentální – *mental fatigue*), protože by se jednalo o změnu subjektivní vnímané únavy v důsledku samostatné mentální zátěže. Naopak následně (v případě experimentálního sezení) je účastník po čtyřminutové samostatné mentální zátěži vystaven navíc ještě zátěži fyzické se stále pokračující totožnou mentální zátěží – zde však již vztahujeme důsledek obou typů zátěže na *motorickou výkonnostní únavu*, tedy objektivní změna TTF a MDF, přičemž v této práci ctíme synonymum motorické výkonnostní únavy, a to tradiční označení *únava svalová*. Očividným zůstává, že definice únavy a její objektivizace je svízelná – důležité je však si uvědomit, že vnímaná i objektivní únava se mohou vzájemně ovlivňovat a modulovat tak následky s únavou spojené (Micklewright et al., 2017; Enoka & Duchateau, 2016).

V případě hodnocení subjektivně vnímané únavy pomocí RPF jsme data odebírali na začátku obou sezení (tedy před MVC), po jednorázovém měření MVC, v polovině čtyřminutového klidového sedu a po čtyřminutovém klidovém sedu bez těžké mentální zátěže nebo se současnou těžkou mentální zátěží (odečítání čísla 13 od libovolného čtyřciferného čísla). Výsledky ukazují, že subjektivní únava se statisticky významně zvýšila ihned po MVC na obou sezeních bez ohledu na pohlaví, přičemž na kontrolním sezení pak po čtyřminutovém klidovém sedu došlo ke snížení únavy pouze u mužů, ženy

zůstaly unavenější než na začátku měření. Samotná těžká mentální zátěž na experimentálním sezení nezvýšila subjektivní únavu vůči hodnotám naměřeným ihned po MVC, nicméně vůči kontrolnímu sezení a klidovému sedu bez mentální zátěže nedošlo k opětovnému snížení únavy na původní hodnoty – muži i ženy bez rozdílu byli po MVC a těžké mentální zátěži unavenější než na začátku měření. Tyto poznatky naznačují, že samotná těžká mentální zátěž v našem případě nezvyšuje subjektivní únavu, avšak u mužů zabránila návratu RPF na klidovou hodnotu. Muži i ženy na experimentálním sezení prováděli po čtyřminutovém sedu samotný únavový protokol subjektivně unavenější než na začátku sezení. Na kontrolním sezení byly po měření MVC a čtyřminutovém klidovém sedu bez mentální zátěže v nevýhodě pouze ženy, pro které nebyly čtyři minuty odpočinku dostatečné na to, aby se jejich hodnoty RPF vrátily na úroveň před měřením MVC. Na experimentálním sezení tedy nedošlo po MVC a těžké mentální zátěži k návratu hodnot RPF na klidovou úroveň ani u jednoho pohlaví.

Z hlediska subjektivních škál spočívala metodika předešlých studií (na jejichž základě byly formulovány zejména hypotézy týkající se svalové unavitelnosti) v odběru dat na začátku sezení, ihned po MVC a poté po čtyřech minutách klidového sedu (během sezení kontrolního, tj. bez mentální zátěže) anebo po čtyřech minutách klidového sedu se současnou mentální zátěží (během sezení experimentálního, také označovaného jako stresorové – *stressor session*). Tento postup použily např. studie Keller-Ross et al. (2014), Pereira et al. (2015), Vanden Noven et al. (2014) a Yoon et al. (2009). Všechny čtyři studie využili subjektivní škálu nabývající hodnot 0-10, v případě Keller-Ross et al. (2014) a Pereira et al. (2015) autoři pomocí této škály hodnotili úzkost (*anxiety*), Vanden Noven et al. (2014) a Yoon et al. (2009) poté zvlášť úzkost a zvlášť stres (*stress*). V případě VAS pro úzkost bylo účastníkům vysvětleno, že se jedná o intenzitu negativní pocitů v nejbližší budoucnosti (*negative feelings regarding the immediate future*), přičemž VAS pro stres představovala subjektivní fyziologické změny (např. zvýšení srdeční či dechové frekvence (Vanden Noven et al., 2017; Yoon et al., 2009). Čtyřminutový klidový sed se současnou těžkou mentální zátěží (odečítání čísla 13 od libovolného čtyřciferného čísla) způsobila ve zmíněných studiích statisticky významné zvýšení VAS pro úzkost i stres bez ohledu na pohlaví.

6.5 Diskuze k metodologickému postupu studie

Reliabilita a opakovatelnost (*repeatability*) měření pomocí povrchového EMG v průběhu dne (*within-day*) a mezi dny (*between-day*) je hojně zkoumané téma s pozitivními závěry (Rainoldi et al., 1999; Dutra et al., 2023). Stejný postup měření jako v této studii byl již použit v předešlých výzkumech (např. Keller-Ross et al., 2014; Yoon et al., 2009).

Pro stanovení maximální volní kontrakce (MVC) u daného člověka vůči které pak vztahujeme míru svalové aktivity pomocí biofeedbacku se v elektromyografických studiích využívá různý počet jednotlivých MVC, které se následně průměrují anebo se z nich vybere nejvyšší hodnota (Konrad, 2005; Vera-Garcia et al., 2010; Watanabe et al., 2012, 2016). V této studii bylo použito jednorázové měření MVC s velmi silným verbálním povzbuzováním za účelem dosažení co nejvyššího možného výkonu – postupovali jsme na základě metodologických úvah popsanych autory Froyd et al. (2018), který uvádí: „*Subjekty předem věděly, že experiment se skládá ze tří pokusů, a proto mohly první nebo druhý pokus ukončit v submaximálním stavu únavy, a to i přes silné verbální povzbuzování.*“ (Noakes, 2012).

Svalová únava – dle autorů Behrens et al. (2023) *motorická výkonnostní únava* – je typicky doprovázena progresivním snižováním mediánu frekvence (MDF) EMG signálu. Předpokládá se, že pokles MDF je způsoben primárně snižováním rychlosti vedení (*conduction velocity* – *CV*) elektrického signálu, což je často spojováno se současným snižováním intramuskulárního pH (Brody et al., 1991; Fuglevand et al., 1993; Gorostiaga et al., 2010), prodlužováním intracelulárního akčního potenciálu (IAP) a snižováním frekvence pálení (*firing rate*) motorických jednotek. Tyto změny v mediánu frekvence pravděpodobně souvisí s postupným náborem dalších motorických jednotek za účelem kompenzace snížené síly motorických jednotek, které jsou do té doby aktivní (Fuglevand et al., 1993; Kellis et al., 1999).

6.6 Diskuze k praktickým implikacím výsledků

Praktický význam řešeného tématu je nastíněn také v kapitolách 2.2.5 a 2.4. V následujících odstavcích budou diskutovány možné mechanismy a doporučení související se svalovou unavitelností, otázkou pohlaví či mentální zátěže s přesahem do klinické praxe.

Únavu lze v kontextu zaměstnání definovat také jako “biologickou potřebu odpočinku” (Fisher et al., 2017; Williamson et al., 2011). Z hlediska konkrétních profesí je únava ovlivněna fyzickou a mentální činností, která je pro danou práci potřeba, ale také pracovním rozvrhem – časování směn nebo počet odpracovaných hodin (Folkard & Åkerstedt, 2004). Během statických či přerušovaných statických fyzických aktivit prováděných současně s těžkou mentální zátěží (tedy mentální zátěží zvyšující úroveň stresu) můžeme na základě vybraných indikátorů (např. čas do selhání či míra snižování síly) sledovat významně vyšší svalovou unavitelnost než u podobných aktivit bez současné mentální zátěže – tyto závěry mohou hrát roli u zaměstnání, která jsou vystavena podobným situacím a potenciálně tak u daných pracovníků zvyšovat pravděpodobnost rozvoje muskuloskeletálních poruch (Mehta & Agnew, 2012). Pracovní zátěž by měla být hodnocena na základě fyzických i mentálních nároků a během úkonů kombinujících tyto dvě proměnné by mělo být dovoleno pracovníkům dostatek přestávek i adekvátní zotavení za účelem snížení progresu únavy (Mehta & Agnew, 2012; Vymyslický et al., 2022). Autoři Pereira et al. (2015) na základě závěrů jejich studie upozorňují také na faktor věku v kontextu pracovních pozic obsazených staršími dospělými, kdy u starších žen byla během izometrické kontrakce pozorována významně vyšší unavitelnost se současnou těžkou i lehkou mentální zátěží.

Těžká mentální zátěž a s ní narůstající úroveň stresu může mimo jiné způsobit zvýšení krevního tlaku a srdeční frekvence (Vanden-Noven a kol., 2014), což představuje větší zátěž na srdce (Keller-Ross a kol., 2014). Indikátorem srdeční práce (*cardiac work*) a spotřeby kyslíku srdeční svalovinou (*myocardial oxygen consumption*) je tzv. produkt frekvence-tlak (*rate-pressure product – RPP*), který byl ve studii Yoon et al. (2009) u žen vůči mužům během sezení s těžkou mentální zátěží zvýšený. Nižší kardiovaskulární odezva u žen než u mužů pozorovaná během kontrolního sezení (tj. sezení se samotnou izometrickou kontrakcí nízké intenzity bez mentální zátěže) je tedy s přítomností těžké mentální zátěže negována – to může u žen za těchto podmínek zvýšit predispozice k vyšší svalové unavitelnosti (Vymyslický et al., 2022; Yoon et al., 2009). Autoři Keller-Ross et al. (2014) během sezení s těžkou mentální zátěží pozorovali významnější zvýšení srdeční zátěže (*cardiac load*) vůči kontrolnímu sezení, v tomto případě však u obou pohlaví.

Stran studií zkoumajících vliv mentální zátěže na svalovou unavitelnost a následnou implikaci výsledků na reálné pracovní situace můžeme v literatuře nalézt řadu prací, které využívají jako formu mentální zátěže přímo danou profesní činností – např. pipetování (Srinivasan et al., 2015), práci na počítači (*computer work*) (např. Ciccarelli et al., 2013; Dennerlein & Johnson, 2006; Szeto et al., 2009) nebo různé lehké práce v průmyslu (*light industrial work*) (např. Hansson et al., 2000; Veiersted et al., 1990). Autoři Srinivasan et al. (2015) označují pipetování jako validní model repetitivní činnosti, kterou lidé v daných profesích dlouhodobě provádějí – v jejich studii však nedošlo vůči kontrolnímu měření ke zvýšení HR, HRV ani subjektivně vnímané únavy či úsilí. Mentální zátěž ve formě pipetování tedy pravděpodobně pro účastníky studie nebyla dostatečně stresující na to, aby vyústila ve významnější aktivaci sympatiku s následným předpokládaným vlivem na svalovou unavitelnost, neboť elektromyografické měření m. extensor carpi radialis bylo během experimentálního i kontrolního sezení bez statisticky významných rozdílů, naopak m. trapezius (horní část) zaznamenala zvýšenou aktivitu se současnou mentální zátěží o zhruba 10 % (Srinivasan et al., 2015), což však u jiných studií zároveň znamenalo vyšší aktivitu sympatiku (Hallman et al., 2011; Krantz et al., 2004; Roatta et al., 2008; Roatta & Farina, 2010). Dle autorů Willmann & Bolmont (2012) by aktivace m. trapezius za současné mentální zátěže mohla být přirozenou adaptivní odpovědí, přestože nároky mentální zátěže neovlivní autonomní nervový systém.

Na základě výsledků studie Vanden Noven et al. (2014), kteří během izometrické kontrakce dorziflexorů kotníku o intenzitě 5 % a 30 % MVC při současné těžké mentální zátěži pozorovali významně vyšší nárůst aktivity sympatiku u starších dospělých než u mladších, se můžeme domnívat, že míru srdeční zátěže (*cardiac load*) je nutné sledovat ze zdravotních důvodů při různých pracovních činnostech vyžadujících aktivitu dolních končetin, a to zejména u starších lidí. Pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti však pozorovány nebyly – pravděpodobně z důvodu minimálních rozdílů ve složení daných svalů stran svalových vláken typu I a II, přičemž navzdory rozdílné aktivitě sympatiku u starších a mladších dospělých nebyla samotná svalová unavitelnost ovlivněna věkem.

Význam pohlavních rozdílů ve svalové unavitelnosti (s mentální zátěží i bez ní) v kontextu rehabilitace není dostatečně prozkoumán. Jak bylo zmíněno v teoretické části

této práce (kap. 2.2.5), např. u artrózy pozorujeme vyšší prevalenci u žen než u mužů, nicméně z hlediska úspěšnosti pohybové léčby zůstává vliv pohlaví nejasný. Pohybová část rehabilitace založená na relativních intenzitách by po zraněních či u neuromuskulárních poruch neměla být pro obě pohlaví totožná, a to alespoň do doby, než budou dostupná data naznačující opak (Hunter, 2014) – avšak vzhledem k závislosti pohlavních rozdílů ve svalové unavitelnosti na typu kontrakce, intenzitě, rychlosti (v případě dynamické kontrakce), konkrétním sledovaném svalu či okolních podmínkách se zdá výhodnější přistupovat ke každému jedinci individuálně, a to v případě rehabilitace bez ohledu na pohlaví. Svalová únava hraje také významnou roli např. u roztroušené sklerózy, kdy ve studii Skurvydas et al. (2011) autoři nepozorovali u vnější hlavy kvadricepsu pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti – u mužů i u žen byl v důsledku onemocnění pozorován podobný negativní efekt. Mechanismy podílející se na pohlavních rozdílech ve svalové unavitelnosti u zdravé populace se liší od těch pozorovaných u lidí s roztroušenou sklerózou. Navzdory obvykle nižší unavitelnosti u zdravých žen vůči mužům bylo u žen pozorováno vyšší vnímání bolesti během cvičení, před ním i po něm (Fillingim et al. 2009; Racine et al., 2012), nicméně cvičení je paradoxně zároveň slibným prostředkem pro snížení bolesti (*exercise-induced hypoalgesia*) u lidí jí trpících (Hoeger Bement et al. 2008, Lemley et al., 2015), může být tedy možnou terapeutickou intervencí za účelem krátkodobého či i dlouhodobého snížení bolesti zejména u žen, které vykazují vyšší prevalenci např. výše zmíněné artrózy (Boyan et al., 2013) či fibromyalgie (Hoeger et al., 2011, 2014; Hunter 2016a).

6.7 Diskuze k limitacím studie

Přestože jsme zaznamenali řadu zajímavých výsledků, má tato studie několik limitací. Neměřili jsme svalovou sílu účastníků, protože předpokládáme, že muži jsou obecně silnější než ženy (Hunter, 2024) – tak jak tomu bylo v předchozích studiích napříč různými svalovými skupinami (Hunter & Enoka, 2001; Fulco et al., 1999; Russ & Kent-Braun et al., 2003; Yoon et al., 2007, 2009). Síla mužů a žen by byla podobná pouze v případě specifického výběru totožně silově vybavených účastníků (*strength-matched participants*) stejně jako v rámci předchozích studií (např. Hunter 2004c, 2006b). Těžká mentální zátěž (totožná s tou v této studii) zvýšila úroveň stresu v předchozích studiích (Keller-Ross et al., 2014; Yoon et al., 2009) a následně negativně ovlivnila svalovou

únavu (Hunter, 2014; Keller-Ross et al., 2014; Yoon et al., 2009). V této studii však úroveň stresu měřena nebyla (monitorováním aktivity sympatického nervového systému), a proto je obtížné říci, zda nakonec těžká mentální zátěž skutečně zvýšila hladinu stresu u každého účastníka. Na základě možných individuálních rozdílů totiž nemusí být námi zvolená mentální zátěž dostatečně náročná, aby hladinu stresu zvýšila, a naopak může působit pouze jako rozptýlení (*distraction*), které nemusí mít negativní vliv na svalovou únavu (Yoon et al., 2009) a při jejím využití nebyl pozorován negativní efekt na svalovou únavu u mužů ani žen (Keller-Ross, 2014; Yoon et al., 2009). Další limitací je absence sledování hormonálních hladin u žen souvisejících s menstruačním cyklem. Celkem dvě ženy v naší studii užívaly perorální kontraceptiva, nicméně na základě předchozích výzkumů zůstává jejich praktický význam pro svalovou unavitelnost nejasný (Hunter et al., 2023). Abychom zjistili, ve které fázi menstruačního cyklu se ženy v naší studii nacházely, použili jsme tradiční 28denní model menstruačního cyklu a rozdělili jej na dvě fáze – pre-menstruační (15.–28. den od začátku poslední menstruace) a post-menstruační (1.–14. den od začátku poslední menstruace). Tento postup byl již dříve ve studiích na toto téma využíván (Pereira et al., 2020). V současnosti někteří autoři pro správné zařazení dané ženy do příslušné fáze menstruačního cyklu doporučují použití kombinaci tří metod, a to krevní rozbor (*serum concentration assessment*), mapování cyklu (*cycle mapping*) a rozbor moči (*urinary ovulation prediction*) (Schaumberg et al., 2017; Sims & Heather, 2018). Klasifikace žen do jednotlivých fází menstruačního cyklu je také častou limitací předchozích studií zabývajících se tímto tématem (Pereira et al., 2020).

6.8 Diskuze k budoucímu směřování výzkumu

Problematika pohlaví jako proměnné v rámci studií zaměřených na (nejen) svalovou unavitelnost nabízí celou řadu možností, jak v budoucnu lépe pochopit význam pohlavních rozdílů v kontextu únavy, či v našem případě také mentální zátěže. Poznatky v této oblasti mohou mít významný vliv zejména na rizika rozvoje muskuloskeletálních poruch v souvislosti s pracovní zátěží daného jedince. Hunter (2016a) např. doporučuje opětovnou analýzu již existujících dat u studií, kde pohlaví nebylo zahrnuto jako proměnná a zároveň v rámci studií budoucích vždy pohlaví jako proměnnou zahrnout. Z hlediska terminologie pak doporučuje k vědeckým studiím zkoumajícím

pouze jedno pohlaví (*single sex studies*) doplňovat už do názvu studie příslušné označení „... u mužů“ nebo „u žen.“ Za podstatné považují autoři Hunter et al. (2023) také vznik studií zaměřených na výzkum pohlavních rozdílů ve fyzické výkonnosti např. u pacientů po cévních mozkových příhodách či pacientů trpících diabetem, metabolickým syndromem aj. Nejasný je také vliv perorálních kontraceptiv či hormonální terapie na svalovou unavitelnost u žen v souvislosti s menopauzou. Významné mezery nalézáme rovněž v oblasti zotavení po zátěži, kdy můžeme sledovat například podobnou svalovou unavitelnost, ale odlišnou rychlost zotavení u jednotlivých pohlaví, přičemž mechanismy nejsou zcela objasněny (Hunter, 2016a). Samostatnou a velmi aktuální problematikou je pak sledování vlivu genderu na svalovou unavitelnost, a to ať už v souvislosti s mentální zátěží či bez ní.

7 Závěr

Cílem této disertační práce bylo zjistit, zda má těžká mentální zátěž během izometrické kontrakce do selhání m. biceps brachii nedominantní horní končetiny o intenzitě 40 % MVC větší vliv na svalovou unavitelnost u žen než u mužů. Svalová unavitelnost byla kvantifikována pomocí času do selhání a celkového poklesu mediánu frekvence EMG signálu. Hypotézy byly stanoveny na podkladě výsledků předešlých studií, které sledovaly podobné proměnné u stejného typu kontrakce, svalové skupiny i s totožnou mentální zátěží, avšak u nižších relativních intenzit kontrakce (převážně 20 a 30 % MVC). Výsledky této práce ukazují, že u intenzity 40 % MVC neměla těžká mentální zátěž vliv na svalovou unavitelnost bez ohledu na pohlaví (tedy výrazně neovlivnila svalovou unavitelnost u mužů ani u žen) ani s ohledem na něj (obě pohlaví reagovala na těžkou mentální zátěž podobně). Rozdíly mezi muži a ženami v samotném čase do selhání však byly zřetelné a za těchto podmínek potvrzují dřívější poznatky o nižší svalové unavitelnosti u žen než u mužů – ženy vydržely výrazně déle s mentální zátěží i bez ní. Pokles mediánu frekvence EMG signálu však byl v okamžiku selhání u obou pohlaví na všech měřeních podobný, což nenasvědčuje např. úmyslnému předčasnému ukončení aktivity ze strany mužů a spíše naznačuje, že se na pohlavních rozdílech v čase do selhání podílí (v souladu se závěry předešlých studií) především periferní determinanty svalové únavy. Naše výsledky rozšiřují soubor studií zaměřených na výzkum svalové unavitelnosti se zřetelem na pohlaví a mentální zátěž, kdy „novinkou“ je sledování vlivu těchto proměnných během střední relativní intenzity (40 % MVC).

Z praktického hlediska je téma mentální zátěže a pohlavních rozdílů ve svalové unavitelnosti nejvíce rozpracováno v souvislosti s muskuloskeletálními poruchami, jejichž prevalence může být ovlivněna specifickými profesemi. Předešlé studie doporučují brát zřetel zejména na větší negativní vliv těžké mentální zátěže na svalovou unavitelnost u žen, a to u fyzických aktivit zahrnujících především statické kontrakce o nízké intenzitě. Výsledky naší studie však tato doporučení rozšířit nemohou, neboť reakce mužů a žen na mentální zátěž během statické (v našem případě izometrické) kontrakce střední intenzity odlišná nebyla. S opatrnou interpretací naše výsledky naznačují, že zaměstnání vyžadující déletrvající statické kontrakce střední intenzity vykonávané současně s náročnými mentálními úkoly nejsou citlivé na faktor pohlaví – ženy

tedy vůči mužům v tomto případě nelze označit za skupinu více náchylnou k rozvoji muskuloskeletálních poruch souvisejících se svalovou únavou. Pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti jsou okrajově řešeny také v kontextu rehabilitace – především zde však vnímáme významné nedostatky a upozorňujeme na celou řadu budoucích výzkumných příležitostí, a to zejména ve výzkumu specifických klinických populací. Snažili jsme se dodržet dříve použité metodologické postupy, což ve svém důsledku umožňuje snadnou komparaci výsledků jednotlivých studií – totéž doporučujeme výzkumníkům, kteří by v budoucnosti chtěli rozšířit poznatky fenoménu svalové únavy v kontextu mentální zátěže a/nebo pohlavních vlivů.

8 Referenční seznam

ADAM, A.; DE LUCA, C. J. Firing rates of motor units in human vastus lateralis muscle during fatiguing isometric contractions. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2005, roč. 99, č. 1, s. 268-280. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01344.2004>. [cit. 2025-06-18].

AL-KUSHI, G. Anatomical study of the third head of biceps brachii muscle and its innervation by median nerve in human dissection. Online. *Journal of Clinical Medicine and Research*. 2013, roč. 5, č. 4, s. 47-52. ISSN 2141-2235. Dostupné z: <https://doi.org/10.5897/JCMR12.017>. [cit. 2025-06-18].

AL-MULLA, M. R.; SEPULVEDA, F.; COLLEY, M. A Review of Non-Invasive Techniques to Detect and Predict Localised Muscle Fatigue. Online. *Sensors*. 2011, roč. 11, č. 4, s. 3545-3594. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/s110403545>. [cit. 2025-06-17].

ALEXANDER, S. E.; POLLOCK, A. C.; LAMON, S. The effect of sex hormones on skeletal muscle adaptation in females. Online. *European Journal of Sport Science*. 2022, roč. 22, č. 7, s. 1035-1045. ISSN 1746-1391. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1921854>. [cit. 2025-06-17].

ALLEN, D. G.; CLUGSTON, E.; PETERSEN, Y.; RÖDER, I. V.; CHAPMAN, B. Interactions between intracellular calcium and phosphate in intact mouse muscle during fatigue. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2011, roč. 111, č. 2, s. 358-366. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01404.2010>. [cit. 2025-06-17].

ALLEN, D. G.; LAMB, G. D.; WESTERBLAD, H. Skeletal Muscle Fatigue: Cellular Mechanisms. Online. *Physiological Reviews*. 2008, roč. 88, č. 1, s. 287-332. ISSN 0031-9333. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/physrev.00015.2007>. [cit. 2025-06-16].

AMAR, D.; LINDHOLM, M. E.; NORRBOM, J.; WHEELER, M. T.; RIVAS, M. A. et al. Time trajectories in the transcriptomic response to exercise - a meta-analysis. Online. *Nature Communications*. 2021, roč. 12, č. 1. ISSN 2041-1723. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23579-x>. [cit. 2025-06-17].

AMOOZI, H.; BARZEGARPOOR, H.; RAJABI, H.; BUTTON, D. C.; FAYAZMI-LANI, R. The effect of performing mental exertion during cycling endurance exercise on fatigue indices: sex dependent differences. Online. *Frontiers in Physiology*. 2025, roč. 16. ISSN 1664-042X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1522626>. [cit. 2025-06-16].

ANSDELL, P.; THOMAS, K.; HICKS, K. M.; HUNTER, S. K.; HOWATSON, G. Physiological sex differences affect the integrative response to exercise: acute and chronic implications. Online. *Experimental Physiology*. 2020, roč. 105, č. 12, s. 2007-2021. ISSN 0958-0670. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/EP088548>. [cit. 2025-06-16].

ARMSTRONG, J.; SULLIVAN, A.; PERRY, G. M. Performance of non-binary athletes in mass-participation running events. Online. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*. 2023, roč. 9, č. 4. ISSN 2055-7647. Dostupné z: <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2023-001662>. [cit. 2025-06-17].

ARNEGARD, M. E.; WHITTEN, L. A.; HUNTER, CH.; CLAYTON, J. A. Sex as a Biological Variable: A 5-Year Progress Report and Call to Action. Online. *Journal of Women's Health*. 2020, roč. 29, č. 6, s. 858-864. ISSN 1540-9996. Dostupné z: <https://doi.org/10.1089/jwh.2019.8247>. [cit. 2025-06-16].

ARNOLD, A. P. The end of gonad-centric sex determination in mammals. Online. *Trends in Genetics*. 2012, roč. 28, č. 2, s. 55-61. ISSN 01689525. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tig.2011.10.004>. [cit. 2025-06-17].

ASVAT, R.; CANDLER, P.; SARMIENTO, E. E. High incidence of the third head of biceps brachii in South African populations. *Journal of Anatomy*. 1993. 182, 101–104. PMID: 8509293. [cit. 2025-06-16].

- AU, A. K.; KEIR, P. J. Interfering effects of multitasking on muscle activity in the upper extremity. Online. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2007, roč. 17, č. 5, s. 578-586. ISSN 10506411. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2006.06.005>. [cit. 2025-06-17].
- AVADHANI, R.; CHAKRAVARTHI, K. K. A study on morphology of the biceps brachii muscle. Online. *Journal of Health and Allied Sciences NU*. 2020, roč. 02, č. 03, s. 02-05. ISSN 2582-4287. Dostupné z: <https://doi.org/10.1055/s-0040-1703579>. [cit. 2025-06-17].
- AVIN, K. G.; NAUGHTON, M. R.; FORD, B. W.; MOORE, H. E.; MONITTO-WEBBER, M. N. Sex Differences in Fatigue Resistance Are Muscle Group Dependent. Online. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2010, roč. 42, č. 10, s. 1943-1950. ISSN 0195-9131. Dostupné z: <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181d8f8fa>. [cit. 2025-06-17].
- BASMAJIAN, J.; V. DE LUCA, C.J. Muscles Alive: Their Functions Revealed by Electromyography. 5th edition, Baltimore, USA: Williams & Wilkins, 1985, 561 s. ISBN 0-683-00414-X. [cit. 2025-06-17].
- BASSETT, D. R.; WYATT, H. R.; THOMPSON, H.; PETERS, J. C.; HILL, J. O. Pedometer-Measured Physical Activity and Health Behaviors in U.S. Adults. Online. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2010, roč. 42, č. 10, s. 1819-1825. ISSN 0195-9131. Dostupné z: <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181dc2e54>. [cit. 2025-06-17].
- BEHRENS, M.; GUBE, M.; CHAABENE, H.; PRIESKE, O.; ZENON, A. Fatigue and Human Performance: An Updated Framework. Online. *Sports Medicine*. 2023, roč. 53, č. 1, s. 7-31. ISSN 0112-1642. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01748-2>. [cit. 2025-06-16].
- BELL, E. C.; WILLSON, M. C.; WILMAN, A. H.; DAVE, S.; SILVERSTONE, P. H. Males and females differ in brain activation during cognitive tasks. Online. *NeuroImage*. 2006, roč. 30, č. 2, s. 529-538. ISSN 10538119. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.09.049>. [cit. 2025-06-17].

BENES, M.; KACHLIK, D.; LEV, D.; KUNC, V. Accessory heads of the biceps brachii muscle: A systematic review and meta-analysis. Online. *Journal of Anatomy*. 2022, roč. 241, č. 2, s. 461-477. ISSN 0021-8782. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/joa.13666>. [cit. 2025-06-16].

BERGMAN, S.; HERRSTROM, P.; HOGSTROM, K. et al. Chronic musculoskeletal pain, prevalence rates, and sociodemographic associations in a Swedish population study. *J Rheumatol*. 2001; 28:1369–1377. PMID: 11409133. [cit. 2025-06-17].

BHATTACHARYA, A. Costs of occupational musculoskeletal disorders (MSDs) in the United States. Online. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2014, roč. 44, č. 3, s. 448-454. ISSN 01698141. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2014.01.008>. [cit. 2025-06-17].

BINGEFORS, K.; ISACSON, D. Epidemiology, co-morbidity, and impact on health-related quality of life of self-reported headache and musculoskeletal pain—a gender perspective. Online. *European Journal of Pain*. 2004, roč. 8, č. 5, s. 435-450. ISSN 1090-3801. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ejpain.2004.01.005>. [cit. 2025-06-17].

BINNERT, CH.; KOISTINEN, H. A.; MARTIN, G.; ANDREELLI, F.; EBELING, P. et al. Fatty acid transport protein-1 mRNA expression in skeletal muscle and in adipose tissue in humans. Online. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. 2000, roč. 279, č. 5, s. E1072-E1079. ISSN 0193-1849. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/ajpendo.2000.279.5.E1072>. [cit. 2025-06-17].

BLANCHFIELD, A. W.; HARDY, J.; DE MORREE, H. M.; STAIANO, W.; MARCORA, S. M. Talking Yourself Out of Exhaustion. Online. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2014, roč. 46, č. 5, s. 998-1007. ISSN 0195-9131. Dostupné z: <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000184>. [cit. 2025-06-17].

BOUCHARD, C. Genomic predictors of trainability. Online. *Experimental Physiology*. 2012, roč. 97, č. 3, s. 347-352. ISSN 0958-0670. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2011.058735>. [cit. 2025-06-17].

- BOYAN, B. D.; TOSI, L. L.; COUTTS, R. D.; ENOKA, R. M.; HART, D. A. et al. Addressing the gaps: sex differences in osteoarthritis of the knee. Online. *Biology of Sex Differences*. 2013, roč. 4, č. 1. ISSN 2042-6410. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/2042-6410-4-4>. [cit. 2025-06-17].
- BOYAN, B. D.; TOSI, L.; COUTTS, R.; ENOKA, R.; HART, D. A. et al. Sex Differences in Osteoarthritis of the Knee. Online. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2012, roč. 20, č. 10, s. 668-669. ISSN 1067-151X. Dostupné z: <https://doi.org/10.5435/JAAOS-20-10-668>. [cit. 2025-06-17].
- BRODY, L. R.; POLLOCK, M. T.; ROY, S. H.; DE LUCA, C. J.; CELLI, B. PH-induced effects on median frequency and conduction velocity of the myoelectric signal. Online. *Journal of Applied Physiology*. 1991, roč. 71, č. 5, s. 1878-1885. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappl.1991.71.5.1878>. [cit. 2025-06-17].
- BROOKS, G. A. Lactate as a fulcrum of metabolism. Online. *Redox Biology*. 2020, roč. 35. ISSN 22132317. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101454>. [cit. 2025-06-17].
- CALLISTER, R.; SUWARNO, N. O.; SEALS, D. R. Sympathetic activity is influenced by task difficulty and stress perception during mental challenge in humans. Online. *The Journal of Physiology*. 1992, roč. 454, č. 1, s. 373-387. ISSN 0022-3751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1992.sp019269>. [cit. 2025-06-17].
- CARTER, S. L.; RENNIE, C.; TARNOPOLSKY, M. A. Substrate utilization during endurance exercise in men and women after endurance training. Online. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. 2001, roč. 280, č. 6, s. E898-E907. ISSN 0193-1849. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/ajpendo.2001.280.6.E898>. [cit. 2025-06-17].
- CICCARELLI, M.; STRAKER, L.; MATHIASSEN, S. E.; POLLOCK, C. Variation in Muscle Activity Among Office Workers When Using Different Information Technolo-

gies at Work and Away From Work. Online. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*. 2013, roč. 55, č. 5, s. 911-923. ISSN 0018-7208. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/0018720813485788>. [cit. 2025-06-17].

CIFREK, M.; MEDVED, V.; TONKOVIĆ, S.; OSTOJIĆ, S. Surface EMG based muscle fatigue evaluation in biomechanics. Online. *Clinical Biomechanics*. 2009, roč. 24, č. 4, s. 327-340. ISSN 02680033. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2009.01.010>. [cit. 2025-06-17].

CLARK, B. C.; COLLIER, S. R.; MANINI, T. M.; PLOUTZ-SNYDER, Lori L. Sex differences in muscle fatigability and activation patterns of the human quadriceps femoris. Online. *European Journal of Applied Physiology*. 2005, roč. 94, č. 1-2, s. 196-206. ISSN 1439-6319. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1293-0>. [cit. 2025-06-17].

CLARK, B. C.; MANINI, T. M.; THÉ, D. J.; DOLDO, N. A.; PLOUTZ-SNYDER, L. L. Gender differences in skeletal muscle fatigability are related to contraction type and EMG spectral compression. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2003, roč. 94, č. 6, s. 2263-2272. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00926.2002>. [cit. 2025-06-17].

COGGAN, A. R.; RAGUSO, C. A.; WILLIAMS, B. D.; SIDOSSIS, L. S.; GASTALDELLI, A. Glucose kinetics during high-intensity exercise in endurance-trained and untrained humans. Online. *Journal of Applied Physiology*. 1995, roč. 78, č. 3, s. 1203-1207. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappl.1995.78.3.1203>. [cit. 2025-06-17].

CREWE, H.; TUCKER, R.; NOAKES, T. D. The rate of increase in rating of perceived exertion predicts the duration of exercise to fatigue at a fixed power output in different environmental conditions. Online. *European Journal of Applied Physiology*. 2008, roč. 103, č. 5, s. 569-577. ISSN 1439-6319. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0741-7>. [cit. 2025-06-17].

CRUZ-MONTECINOS, C.; CALATAYUD, J.; ITURRIAGA, C.; BUSTOS, C.; MENA, B. et al. Influence of a self-regulated cognitive dual task on time to failure and complexity of submaximal isometric force control. Online. *European Journal of Applied Physiology*. 2018, roč. 118, č. 9, s. 2021-2027. ISSN 1439-6319. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3936-6>. [cit. 2025-06-17].

CRUZ-MONTECINOS, C.; NÚÑEZ-CORTÉS, R.; GUZMÁN-GONZÁLEZ, B.; ANDERSEN, L. L.; GARCÍA-MASSÓ, X. et al. The Relevance of Dual Tasking for Improving Trunk Muscle Endurance After Back Surgery. Online. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2021, roč. 102, č. 3, s. 463-469. ISSN 00039993. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2020.07.015>. [cit. 2025-06-18].

DE LUCA, C. J. The use of Surface Electromyography in Biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics*, 1997, vol 13, p. 135-163, [on line], [cit. 31.3.2015], Dostupné z: <http://delsys.com/decomp/078.pdf> [cit. 2025-06-17].

DE STE CROIX, M. B.A.; DEIGHAN, M. A.; RATEL, S.; ARMSTRONG, N. Age and sex associated differences in isokinetic knee muscle endurance between young children and adults. Online. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2009, roč. 34, č. 4, s. 725-731. ISSN 1715-5312. Dostupné z: <https://doi.org/10.1139/H09-064>. [cit. 2025-06-17].

DE ZWART, B. C. H.; FRINGS-DRESEN, M. H. W.; KILBOM, Å. Gender differences in upper extremity musculoskeletal complaints in the working population. Online. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2000, roč. 74, č. 1, s. 21-30. ISSN 0340-0131. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s004200000188>. [cit. 2025-06-17].

DEARTH, D. J.; UMBEL, J.; HOFFMAN, R. L.; RUSS, D. W.; WILSON, T. E. Men and women exhibit a similar time to task failure for a sustained, submaximal elbow extensor contraction. Online. *European Journal of Applied Physiology*. 2010, roč. 108, č. 6, s. 1089-1098. ISSN 1439-6319. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1323-z>. [cit. 2025-06-17].

DEENEY, C.; O'SULLIVAN, L. W. Effects of cognitive loading and force on upper trapezius fatigue. Online. *Occupational Medicine*. 2017, roč. 67, č. 9, s. 678-683. ISSN 0962-7480. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/occmed/kqx157>. [cit. 2025-06-17].

DEERING, R. E.; SENEFELD, J. W.; PASHIBIN, T.; NEUMANN, D. A.; HUNTER, S. K. Muscle function and fatigability of trunk flexors in males and females. Online. *Biology of Sex Differences*. 2017, roč. 8, č. 1. ISSN 2042-6410. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s13293-017-0133-y>. [cit. 2025-06-17].

DENNERLEIN, J. T.; JOHNSON, P. W. Different computer tasks affect the exposure of the upper extremity to biomechanical risk factors. Online. *Ergonomics*. 2007, roč. 49, č. 1, s. 45-61. ISSN 0014-0139. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/00140130500321845>. [cit. 2025-06-17].

DIDOMENICO, A.; NUSSBAUM, M. A. Effects of different physical workload parameters on mental workload and performance. Online. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2011, roč. 41, č. 3, s. 255-260. ISSN 01698141. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2011.01.008>. [cit. 2025-06-17].

DIDOMENICO, A.; NUSSBAUM, M. A. Interactive effects of physical and mental workload on subjective workload assessment. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2008. roč. 38, s. 977-83. ISSN 01698141. [cit. 2025-06-17].

DIERICKX, C.; CECCARELLI, E.; CONTI, M.; VANLOMMEL, J.; CASTAGNA, A. Variations of the intra-articular portion of the long head of the biceps tendon: A classification of embryologically explained variations. Online. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2009, roč. 18, č. 4, s. 556-565. ISSN 10582746. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jse.2009.03.006>. [cit. 2025-06-17].

DUCHATEAU, J.; BAUDRY, S. Insights into the neural control of eccentric contractions. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2014, roč. 116, č. 11, s. 1418-1425. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00002.2013>. [cit. 2025-06-17].

DUTRA, Y.; LOPES, J.; MURIAS, J.; ZAGATTO, A. Within- and between-day reliability and repeatability of neuromuscular function assessment in females and males. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2023, roč. 135, č. 6, s. 1372-1383. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00539.2023>. [cit. 2025-06-16].

EARLE, T. L.; LINDEN, W.; WEINBERG, J. Differential effects of harassment on cardiovascular and salivary cortisol stress reactivity and recovery in women and men. Online. *Journal of Psychosomatic Research*. 1999, ISSN 00223999. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0022-3999\(98\)00075-0](https://doi.org/10.1016/S0022-3999(98)00075-0). [cit. 2025-06-17].

EBENBICHLER, G. R.; KOLLMITZER, J.; GLÖCKLER, T.; BOCHDANSKY, T.; KOPF, A.; FIALKA, V. The role of the biarticular agonist and cocontracting antagonist pair in isometric muscle fatigue. *Muscle nerve*. 1998, 21:1706–13. ISSN 10974598. PMID: 9843073. [cit. 2025-06-17].

ENOKA, R. M. Muscle fatigue – from motor units to clinical symptoms. Online. *Journal of Biomechanics*. 2012, roč. 45, č. 3, s. 427-433. ISSN 00219290. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2011.11.047>. [cit. 2025-06-17].

ENOKA, R. M.; DUCHATEAU, J. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. Online. *The Journal of Physiology*. 2008, roč. 586, č. 1, s. 11-23. ISSN 0022-3751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.139477>. [cit. 2025-06-16].

ENOKA, R. M.; DUCHATEAU, J. Translating Fatigue to Human Performance. Online. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2016, roč. 48, č. 11, s. 2228-2238. ISSN 0195-9131. Dostupné z: <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000929>. [cit. 2025-06-16].

ENOKA, R. M.; STUART, D. G. Neurobiology of muscle fatigue. Online. *Journal of Applied Physiology*. 1992, roč. 72, č. 5, s. 1631-1648. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappl.1992.72.5.1631>. [cit. 2025-06-17].

ERIKSEN, H. R.; SVENDSROD, R.; URSIN, G. et al. Prevalence of subjective health complaints in the Nordic European countries in 1993. *Eur J Public Health*. 1998; 8:294–298. [cit. 2025-06-17].

ERIKSEN, W. The prevalence of musculoskeletal pain in Norwegian nurses? aides. Online. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2003, roč. 76, č. 8, s. 625-630. ISSN 0340-0131. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00420-003-0453-6>. [cit. 2025-06-17].

ESBJÖRNSSON-LILJEDAHL, M.; BODIN, K.; JANSSON, E. Smaller muscle ATP reduction in women than in men by repeated bouts of sprint exercise. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2002, roč. 93, č. 3, s. 1075-1083. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00732.1999>. [cit. 2025-06-17].

ESBJÖRNSSON-LILJEDAHL, M.; SUNDBERG, C. J.; NORMAN, B.; JANSSON, E. Metabolic response in type I and type II muscle fibers during a 30-s cycle sprint in men and women. Online. *Journal of Applied Physiology*. 1999, roč. 87, č. 4, s. 1326-1332. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.87.4.1326>. [cit. 2025-06-17].

ESBJÖRNSSON, M.; RUNDQVIST, H. C.; MASCHER, H.; ÖSTERLUND, T.; RO-OYACKERS, O. Sprint exercise enhances skeletal muscle p70S6k phosphorylation and more so in women than in men. Online. *Acta Physiologica*. 2012, roč. 205, č. 3, s. 411-422. ISSN 1748-1708. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2012.02404.x>. [cit. 2025-06-17].

ESBJÖRNSSON, M.; SYLVÉN, C.; HOLM, I.; JANSSON, E. Fast Twitch Fibres May Predict Anaerobic Performance in Both Females and Males. Online. *International Journal of Sports Medicine*. 1993, roč. 14, č. 05, s. 257-263. ISSN 0172-4622. Dostupné z: <https://doi.org/10.1055/s-2007-1021174>. [cit. 2025-06-17].

ETTINGER, S. M.; SILBER, D. H.; COLLINS, B. G.; GRAY, K. S.; SUTLIFF, G. et al. Influences of gender on sympathetic nerve responses to static exercise. Online. *Journal of Applied Physiology*. 1996, roč. 80, č. 1, s. 245-251. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.80.1.245>. [cit. 2025-06-17].

EVSTIGNEEVA, M.; ALEKSANDROV, A.; MATHIASSEN, S. E.; LYSKOV, E. Concurrent cognitive task may improve motor work performance and reduce muscle fatigue. Online. *WORK: A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation*. 2012, roč. 41, č. S1, s. 2893-2896. ISSN 1051-9815. Dostupné z: <https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0540-2893>. [cit. 2025-06-17].

FILLINGIM, R. B.; KING, CH. D.; RIBEIRO-DASILVA, M. C.; RAHIM-WILLIAMS, B.; RILEY, J. L. Sex, Gender, and Pain: A Review of Recent Clinical and Experimental Findings. Online. *The Journal of Pain*. 2009, roč. 10, č. 5, s. 447-485. ISSN 15265900. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2008.12.001>. [cit. 2025-06-17].

FINNI, T.; NOORKOIV, M.; PÖLLÄNEN, E.; RONKAINEN, P. H.A.; ALÉN, M. et al. Muscle function in monozygotic female twin pairs discordant for hormone replacement therapy. Online. *Muscle & Nerve*. 2011, roč. 44, č. 5, s. 769-775. ISSN 0148-639X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/mus.22162>. [cit. 2025-06-17].

FINSEN, L.; SØGAARD, K.; JENSEN, C.; BORG, V.; CHRISTENSEN, H. Muscle activity and cardiovascular response during computer-mouse work with and without memory demands. Online. *Ergonomics*. 2010, roč. 44, č. 14, s. 1312-1329. ISSN 0014-0139. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/00140130110099065>. [cit. 2025-06-17].

FINSTERER, J. Biomarkers of peripheral muscle fatigue during exercise. Online. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2012, roč. 13, č. 1. ISSN 1471-2474. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/1471-2474-13-218>. [cit. 2025-06-17].

FISHER, G. G.; CHAFFEE, D. S.; TETRICK, L. E.; DAVALOS, D. B.; POTTER, G. G. Cognitive functioning, aging, and work: A review and recommendations for research and practice. Online. *Journal of Occupational Health Psychology*. 2017, roč. 22, č. 3, s.

314-336. ISSN 1939-1307. Dostupné z: <https://doi.org/10.1037/ocp0000086>. [cit. 2025-06-17].

FISHER, W. J.; WHITE, M. J. Training-induced adaptations in the central command and peripheral reflex components of the pressor response to isometric exercise of the human triceps surae. Online. *The Journal of Physiology*. 1999, roč. 520, č. 2, s. 621-628. ISSN 0022-3751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.1999.00621.x>. [cit. 2025-06-17].

FOLKARD, S., AKERSTEDT, T. Trends in the risk of accidents and injuries and their implications for models of fatigue and performance. *Aviat Space Environ Med*. 2004 Mar;75(3 Suppl):A161-7. PMID: 15018280. [cit. 2025-06-17].

FOURNIER, G.; BERNARD, C.; CIEVET-BONFILS, M.; KENNEY, R.; PINGON, M. Sex differences in semitendinosus muscle fiber-type composition. Online. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2022, roč. 32, č. 4, s. 720-727. ISSN 0905-7188. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/sms.14127>. [cit. 2025-06-17].

FRASIE, A.; BERTRAND-CHARETTE, M.; COMPAGNAT, M.; BOUYER, L. J.; ROY, J. Validation of the Borg CR10 Scale for the evaluation of shoulder perceived fatigue during work-related tasks. Online. *Applied Ergonomics*. 2024, roč. 116. ISSN 00036870. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2023.104200>. [cit. 2025-06-16].

FREY LAW, L. A.; AVIN, K. G. Endurance time is joint-specific: A modelling and meta-analysis investigation. Online. *Ergonomics*. 2010, roč. 53, č. 1, s. 109-129. ISSN 0014-0139. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/00140130903389068>. [cit. 2025-06-17].

FRIDÉN, C.; HIRSCHBERG, A. L.; SAARTOK, T. Muscle Strength and Endurance Do Not Significantly Vary Across 3 Phases of the Menstrual Cycle in Moderately Active Premenopausal Women. Online. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2003, roč. 13, č. 4, s. 238-241. ISSN 1050-642X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1097/00042752-200307000-00007>. [cit. 2025-06-17].

FROYD, CH.; BELTRAMI, F. G., NOAKES, T. D. Neuromuscular Fatigue at Task Failure and During Immediate Recovery after Isometric Knee Extension Trials. Online. *Sports*. 2018, roč. 6, č. 4. ISSN 2075-4663. <https://doi.org/10.3390/sports6040156>.

FUGLEVAND, A. J.; WINTER, D. A. a PATLA, A. E. Models of recruitment and rate coding organization in motor-unit pools. Online. *Journal of Neurophysiology*. 1993, roč. 70, č. 6, s. 2470-2488. ISSN 0022-3077. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jn.1993.70.6.2470>. [cit. 2025-06-16].

FULCO, C. S.; MUZA, S. R.; LAMMI, E.; CYMERMAN, A. Slower fatigue and faster recovery of the adductor pollicis muscle in women matched for strength with men. Online. *Acta Physiologica Scandinavica*. 1999, roč. 167, č. 3, s. 233-239. ISSN 0001-6772. Dostupné z: <https://doi.org/10.1046/j.1365-201x.1999.00613.x>. [cit. 2025-06-17].

GAGNON, D.; BERTRAND A. A.; SMYTH, G.; KEMP, F. Cocontraction changes in muscular fatigue at different levels of isometric contraction. Online. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 1992, roč. 9, č. 4, s. 343-348. ISSN 01698141. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0169-8141\(92\)90066-9](https://doi.org/10.1016/0169-8141(92)90066-9). [cit. 2025-06-17].

GALLAGHER, S.; HEBERGER, J. R. Examining the Interaction of Force and Repetition on Musculoskeletal Disorder Risk. Online. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*. 2013, roč. 55, č. 1, s. 108-124. ISSN 0018-7208. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/0018720812449648>. [cit. 2025-06-17].

GANDEVIA, S. C. Spinal and Supraspinal Factors in Human Muscle Fatigue. Online. *Physiological Reviews*. 2001, roč. 81, č. 4, s. 1725-1789. ISSN 0031-9333. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.4.1725>. [cit. 2025-06-16].

GANDEVIA, S. C.; HOBBS, S. F. Cardiovascular responses to static exercise in man: central and reflex contributions. Online. *The Journal of Physiology*. 1990, roč. 430, č. 1, s. 105-117. ISSN 0022-3751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1990.sp018284>. [cit. 2025-06-17].

GENOVA, H. M.; RAJAGOPALAN, V.; DELUCA, John; DAS, A.; BINDER, A. Examination of Cognitive Fatigue in Multiple Sclerosis using Functional Magnetic Resonance Imaging and Diffusion Tensor Imaging. Online. *PLoS ONE*. 2013, roč. 8, č. 11. ISSN 1932-6203. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0078811>. [cit. 2025-06-17].

GERGELYFI, M.; SANZ-ARIGITA, E. J.; SOLOPCHUK, O.; DRICOT, L.; JACOB, B. Mental fatigue correlates with depression of task-related network and augmented DMN activity but spares the reward circuit. Online. *NeuroImage*. 2021, roč. 243. ISSN 10538119. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.118532>. [cit. 2025-06-17].

GERSHONI, M.; PIETROKOVSKI, S. The landscape of sex-differential transcriptome and its consequent selection in human adults. Online. *BMC Biology*. 2017, roč. 15, č. 1. ISSN 1741-7007. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s12915-017-0352-z>. [cit. 2025-06-17].

GOLIGHTLY, Y. M.; ALLEN, K. D.; CAINE, D. J. A Comprehensive Review of the Effectiveness of Different Exercise Programs for Patients with Osteoarthritis. Online. *The Physician and Sportsmedicine*. 2015, roč. 40, č. 4, s. 52-65. ISSN 0091-3847. Dostupné z: <https://doi.org/10.3810/psm.2012.11.1988>. [cit. 2025-06-17].

GOLLNICK, P. D.; KÖRGE, P.; KARPAKKA, J.; SALTIN, B. Elongation of skeletal muscle relaxation during exercise is linked to reduced calcium uptake by the sarcoplasmic reticulum in man. Online. *Acta Physiologica Scandinavica*. 1991, roč. 142, č. 1, s. 135-136. ISSN 0001-6772. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1991.tb09139.x>. [cit. 2025-06-17].

GOMES, M.; SANTOS, P.; CORREIA, P.; PEZARAT-CORREIA, P.; MENDONCA, G. V. Sex differences in muscle fatigue following isokinetic muscle contractions. Online. *Scientific Reports*. 2021, roč. 11, č. 1. ISSN 2045-2322. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87443-0>. [cit. 2025-06-16].

GONZÁLEZ-IZAL, M.; MALANDA, A.; GOROSTIAGA, E.; IZQUIERDO, M. Electromyographic models to assess muscle fatigue. Online. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2012, roč. 22, č. 4, s. 501-512. ISSN 10506411. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.02.019>. [cit. 2025-06-17].

GORBET, D. J.; MADER, L. B.; RICHARD STAINES, W. Sex-related differences in the hemispheric laterality of slow cortical potentials during the preparation of visually guided movements. Online. *Experimental Brain Research*. 2010, roč. 202, č. 3, s. 633-646. ISSN 0014-4819. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2170-1>. [cit. 2025-06-17].

GOROSTIAGA, E. M.; NAVARRO-AMÉZQUETA, I.; CUSSO, R.; HELLSTEN, Y.; CALBET, J. A. L. et al. Anaerobic Energy Expenditure and Mechanical Efficiency during Exhaustive Leg Press Exercise. Online. *PLoS ONE*. 2010, roč. 5, č. 10. ISSN 1932-6203. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013486>. [cit. 2025-06-16].

GRANDE-ALONSO, M.; ORTEGA-LÓPEZ, F.; VITTECOQ, R.; MAYO-FERNÁNDEZ, E.; NAVARRO-FERNÁNDEZ, G. et al. Auditory and visual distraction improve muscle endurance: a randomised controlled trial. Online. *Somatosensory & Motor Research*. 2020, roč. 37, č. 4, s. 334-342. ISSN 0899-0220. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/08990220.2020.1834378>. [cit. 2025-06-17].

GRIMSTAD, F.; KREMEN, J.; STREED, C. G.; DALKE, K. B. The Health Care of Adults with Differences in Sex Development or Intersex Traits Is Changing: Time to Prepare Clinicians and Health Systems. Online. *LGBT Health*. 2021, roč. 8, č. 7, s. 439-443. ISSN 2325-8292. Dostupné z: <https://doi.org/10.1089/lgbt.2021.0018>. [cit. 2025-06-17].

GRINDLE, D. M.; BAKER, L.; FURR, M.; PUTERIO, T.; KNARR, B. et al. The Effects of Walking Workstations on Biomechanical Performance. Online. *Journal of Applied Biomechanics*. 2018, roč. 34, č. 5, s. 349-353. ISSN 1065-8483. Dostupné z: <https://doi.org/10.1123/jab.2017-0124>. [cit. 2025-06-17].

GROSICKI, G. J.; ZEPEDA, C. S.; SUNDBERG, CH. W. Single muscle fibre contractile function with ageing. Online. *The Journal of Physiology*. 2022, roč. 600, č. 23, s. 5005-5026. ISSN 0022-3751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/JP282298>. [cit. 2025-06-17].

GUENETTE, J. A.; ROMER, L. M.; QUERIDO, J. S.; CHUA, R.; EVES, N. D. Sex differences in exercise-induced diaphragmatic fatigue in endurance-trained athletes. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2010, roč. 109, č. 1, s. 35-46. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01341.2009>. [cit. 2025-06-16].

GUO, H.; CHANG, Y.; YEH, W.; CHEN, CH.; GUO, Y. L. Prevalence of Musculoskeletal Disorder among Workers in Taiwan: A Nationwide Study. Online. *Journal of Occupational Health*. 2004, roč. 46, č. 1, s. 26-36. ISSN 1341-9145. Dostupné z: <https://doi.org/10.1539/joh.46.26>. [cit. 2025-06-17].

GURUBHAGAVATULA, I.; BARGER, L. K.; BARNES, CH. M.; BASNER, M.; BOIVIN, D. B. et al. Guiding principles for determining work shift duration and addressing the effects of work shift duration on performance, safety, and health: guidance from the American Academy of Sleep Medicine and the Sleep Research Society. Online. *Journal of Clinical Sleep Medicine*. 2021, roč. 17, č. 11, s. 2283-2306. ISSN 1550-9389. Dostupné z: <https://doi.org/10.5664/jcsm.9512>. [cit. 2025-06-17].

GUZMÁN-GONZÁLEZ, B.; BUSTOS-BRIONES, C.; CALATAYUD, J.; TAPIA, C.; TORRES-ELGUETA, J. et al. Effects of dual-task demands on the complexity and task performance of submaximal isometric handgrip force control. Online. *European Journal of Applied Physiology*. 2020, roč. 120, č. 6, s. 1251-1261. ISSN 1439-6319. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04357-x>. [cit. 2025-06-17].

HALLIWILL, J. R.; LAWLER, L. A.; EICKHOFF, T. J.; DIETZ, N. M.; NAUSS, L. A. et al. Forearm sympathetic withdrawal and vasodilatation during mental stress in humans. Online. *The Journal of Physiology*. 1997, roč. 504, č. 1, s. 211-220. ISSN 0022-3751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.1997.211bf.x>. [cit. 2025-06-17].

HALLMAN, D. M.; LINDBERG, L.; ARNETZ, B. B.; LYSKOV, E. Effects of static contraction and cold stimulation on cardiovascular autonomic indices, trapezius blood flow and muscle activity in chronic neck–shoulder pain. Online. *European Journal of Applied Physiology*. 2011, roč. 111, č. 8, s. 1725-1735. ISSN 1439-6319. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1813-z>. [cit. 2025-06-17].

HANSSON, G.; BALOGH, I.; OHLSSON, K.; PÅLSSON, B.; RYLANDER, L. et al. Impact of physical exposure on neck and upper limb disorders in female workers. Online. *Applied Ergonomics*. 2000, roč. 31, č. 3, s. 301-310. ISSN 00036870. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(99\)00047-2](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00047-2). [cit. 2025-06-17].

HARMER, A. R.; RUELL, P. A.; HUNTER, S. K.; MCKENNA, M. J.; THOM, J. M. et al. Effects of type 1 diabetes, sprint training and sex on skeletal muscle sarcoplasmic reticulum Ca²⁺ uptake and Ca²⁺-ATPase activity. Online. *The Journal of Physiology*. 2014, roč. 592, č. 3, s. 523-535. ISSN 0022-3751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2013.261172>. [cit. 2025-06-17].

HARPER, J.; O'DONNELL, E.; SOROURI KHORASHAD, B.; MCDERMOTT, G.; WITCOMB, G. L. How does hormone transition in transgender women change body composition, muscle strength and haemoglobin? Systematic review with a focus on the implications for sport participation. Online. *British Journal of Sports Medicine*. 2021, roč. 55, č. 15, s. 865-872. ISSN 0306-3674. Dostupné z: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103106>. [cit. 2025-06-17].

HAYES, S. G.; MOYA DEL PINO, N. B.; KAUFMAN, M. P. Estrogen attenuates the cardiovascular and ventilatory responses to central command in cats. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2002, roč. 92, č. 4, s. 1635-1641. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00981.2001>. [cit. 2025-06-17].

HÉBERT-LOSIER, K.; HOLMBERG, H. Dynamometric Indicators of Fatigue From Repeated Maximal Concentric Isokinetic Plantar Flexion Contractions Are Independent of Knee Flexion Angles and Age but Differ for Males and Females. Online. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2014, roč. 28, č. 3, s. 843-855. ISSN 1064-8011. Dostupné z: <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a993a0>. [cit. 2025-06-17].

HEIDARI, S.; BABOR, T. F.; DE CASTRO, P.; TORT, S.; CURNO, M. Sex and Gender Equity in Research: rationale for the SAGER guidelines and recommended use. Online. *Research Integrity and Peer Review*. 2016, roč. 1, č. 1. ISSN 2058-8615. <https://doi.org/10.1186/s41073-016-0007-6>.

HERLAMBANG, M. B.; TAATGEN, N. A.; CNOSSEN, F. The Role of Motivation as a Factor in Mental Fatigue. Online. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*. 2019, roč. 61, č. 7, s. 1171-1185. ISSN 0018-7208. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/0018720819828569>. [cit. 2025-06-17].

HOEGER BEMENT, M. K.; DICAPO, J.; RASIARMOS, R.; HUNTER, S. K. Dose Response of Isometric Contractions on Pain Perception in Healthy Adults. Online. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2008, roč. 40, č. 11, s. 1880-1889. ISSN 0195-9131. Dostupné z: <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31817eeec>. [cit. 2025-06-17].

HOEGER BEMENT, M. K.; RASIARMOS, R. L.; DICAPO, J. M.; LEWIS, A.; KELLER, M. L. et al. The role of the menstrual cycle phase in pain perception before and after an isometric fatiguing contraction. Online. *European Journal of Applied Physiology*. 2009, roč. 106, č. 1, s. 105-112. ISSN 1439-6319. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00421-009-0995-8>. [cit. 2025-06-17].

HOEGER BEMENT, M. K.; WEYER, A.; HARTLEY, S.; DREWEK, B.; HARKINS, A. L. et al. Pain Perception After Isometric Exercise in Women With Fibromyalgia. Online. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2011, roč. 92, č. 1, s. 89-95. ISSN 00039993. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2010.10.006>. [cit. 2025-06-17].

HUBAL, M. J.; RUBINSTEIN, S. R.; CLARKSON, P. M. Muscle Function in Men and Women During Maximal Eccentric Exercise. Online. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2008, roč. 22, č. 4, s. 1332-1338. ISSN 1064-8011. Dostupné z: <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31817392ec>. [cit. 2025-06-17].

HUNTER, S. K. Performance Fatigability: Mechanisms and Task Specificity. Online. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*. 2018, roč. 8, č. 7. ISSN 2157-1422. Dostupné z: <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a029728>. [cit. 2025-06-16].

HUNTER, S. K. Sex Differences and Mechanisms of Task-Specific Muscle Fatigue. Online. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 2009, roč. 37, č. 3, s. 113-122. ISSN 0091-6331. Dostupné z: <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e3181aa63e2>. [cit. 2025-06-17].

HUNTER, S. K. Sex differences in fatigability of dynamic contractions. Online. *Experimental Physiology*. 2016b, roč. 101, č. 2, s. 250-255. ISSN 0958-0670. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/EP085370> [cit. 2025-06-16].

HUNTER, S. K. Sex differences in human fatigability: mechanisms and insight to physiological responses. Online. *Acta Physiologica*. 2014, roč. 210, č. 4, s. 768-789. ISSN 17481708. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/apha.12234>. [cit. 2025-06-17].

HUNTER, S. K. The Relevance of Sex Differences in Performance Fatigability. Online. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2016a, roč. 48, č. 11, s. 2247-2256. ISSN 0195-9131. Dostupné z: <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000928>. [cit. 2025-06-16].

HUNTER, S. K.; ANGADI, S.; BHARGAVA, A.; HARPER, J.; HIRSCHBERG, A. L. The Biological Basis of Sex Differences in Athletic Performance: Consensus Statement for the American College of Sports Medicine. Online. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2023, roč. 55, č. 12, s. 2328-2360. ISSN 1530-0315. Dostupné z: <https://doi.org/10.1249/MSS.00000000000003300>. [cit. 2025-06-16].

HUNTER, S. K.; BUTLER, J. E.; TODD, G.; GANDEVIA, S. C. a TAYLOR, Janet L. Supraspinal fatigue does not explain the sex difference in muscle fatigue of maximal contractions. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2006a, roč. 101, č. 4, s. 1036-1044. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00103.2006>. [cit. 2025-06-17].

HUNTER, S. K.; CRITCHLOW, A.; ENOKA, R. M. Influence of aging on sex differences in muscle fatigability. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2004a, roč. 97, č. 5, s. 1723-1732. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00460.2004>. [cit. 2025-06-17].

HUNTER, S. K.; CRITCHLOW, A.; SHIN, I. S.; ENOKA, R. M. Fatigability of the elbow flexor muscles for a sustained submaximal contraction is similar in men and women matched for strength. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2004b, roč. 96, č. 1, s. 195-202. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00893.2003>. [cit. 2025-06-17].

HUNTER, S. K.; CRITCHLOW, A.; SHIN, I. S.; ENOKA, R. M. Men are more fatigable than strength-matched women when performing intermittent submaximal contractions. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2004c, roč. 96, č. 6, s. 2125-2132. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01342.2003>. [cit. 2025-06-17].

HUNTER, S. K.; ENOKA, R. M. Sex differences in the fatigability of arm muscles depends on absolute force during isometric contractions. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2001, roč. 91, č. 6, s. 2686-2694. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.91.6.2686>. [cit. 2025-06-17].

HUNTER, S. K.; ENOKA, R. M. Sex differences in the fatigability of arm muscles depends on absolute force during isometric contractions. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2001, roč. 91, č. 6, s. 2686-2694. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.91.6.2686>. [cit. 2025-06-17]

HUNTER, S. K.; RYAN, D. L.; ORTEGA, J. D.; ENOKA, Roger M. Task Differences With the Same Load Torque Alter the Endurance Time of Submaximal Fatiguing Contractions in Humans. Online. *Journal of Neurophysiology*. 2002, roč. 88, č. 6, s. 3087-3096. ISSN 0022-3077. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jn.00232.2002>. [cit. 2025-06-17].

HUNTER, S. K.; SENEFELD, J. W. Sex differences in human performance. Online. *The Journal of Physiology*. 2024, roč. 602, č. 17, s. 4129-4156. ISSN 0022-3751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/JP284198>. [cit. 2025-06-16].

HUNTER, S. K.; SCHLETTY, J. M.; SCHLACHTER, K. M.; GRIFFITH, E. E.; POLICHNOWSKI, A. J. Active hyperemia and vascular conductance differ between men and women for an isometric fatiguing contraction. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2006b, roč. 101, č. 1, s. 140-150. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01567.2005>. [cit. 2025-06-17].

HUNTER, S. K.; THOMPSON, M. W.; RUELL, P. A.; HARMER, A. R.; THOM, J. M. et al. Human skeletal sarcoplasmic reticulum Ca²⁺ uptake and muscle function with aging and strength training. Online. *Journal of Applied Physiology*. 1999, roč. 86, č. 6, s. 1858-1865. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.1999.86.6.1858>. [cit. 2025-06-17].

HUNTER, S. K.; YOON, T.; FARINELLA, J.; GRIFFITH, E. E.; NG, A. V. Time to task failure and muscle activation vary with load type for a submaximal fatiguing contraction with the lower leg. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2008, roč. 105, č. 2, s. 463-472. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.90398.2008>. [cit. 2025-06-17].

CHAPMAN, M. A.; ARIF, M.; EMANUELSSON, E. B.; REITZNER, S. M.; LINDHOLM, M. E. Skeletal Muscle Transcriptomic Comparison between Long-Term Trained and Untrained Men and Women. Online. *Cell Reports*. 2020, roč. 31, č. 12. ISSN 22111247. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2020.107808>. [cit. 2025-06-16].

CHATAIN, C.; RADEL, R.; VERCROYSEN, F.; RABAHI, T.; VALLIER, J. et al. Influence of cognitive load on the dynamics of neurophysiological adjustments during fatiguing exercise. Online. *Psychophysiology*. 2019, roč. 56, č. 6. ISSN 0048-5772. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/psyp.13343>. [cit. 2025-06-17].

CHENG, A.; DITOR, D. S.; HICKS, A. L. A comparison of adductor pollicis fatigue in older men and women. Online. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*.

2003, roč. 81, č. 9, s. 873-879. ISSN 0008-4212. Dostupné z: <https://doi.org/10.1139/y03-084>. [cit. 2025-06-17].

CHENG, X.; ZHANG, Y.; WANZ, Z. Molecular basis for exercise-induced fatigue: The importance of strictly controlled cellular Ca^{2+} handling. Online. *Journal of Physiology*. 2018, 596(7), 1234–1245. Dostupné z: <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a029710>. [cit. 2025-06-16].

CHRISTOU, E. A.; JAKOBI, J. M.; CRITCHLOW, A.; FLESHNER, M.; ENOKA, R. M. The 1- to 2-Hz oscillations in muscle force are exacerbated by stress, especially in older adults. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2004, roč. 97, č. 1, s. 225-235. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00066.2004>. [cit. 2025-06-17].

ILAYPERUMA, I.; NANAYKKARA, G.; PALAHEPITIVA, N. Incidence of humeral head of biceps brachii muscle - anatomical insight. *International Journal of Morphology*. 2011. 29(1), 221–225. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/db20/6c5b4e9536e5c5db2f896251a7eb14a2a178.pdf>. [cit. 2025-06-17].

IZZO, K. L.; ARAVABHUMI, S. Clinical electromyography. Principles and practice. *Clin Podiatr Med Surg* [online]. 1990. 7(1), 179-94. ISSN 8918422. PMID: 2405986. JACQUES, M.; HIAM, D.; CRAIG, J.; BARRÈS, R.; EYNON, N. et al. Epigenetic changes in healthy human skeletal muscle following exercise— a systematic review. Online. *Epigenetics*. 2019, roč. 14, č. 7, s. 633-648. ISSN 1559-2294. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/15592294.2019.1614416>. [cit. 2025-06-17].

JAMES, J. J.; KLEVENOW, E. A.; ATKINSON, M. A.; VOSTERS, E. E.; BUECKERS, E. P. Underrepresentation of women in exercise science and physiology research is associated with authorship gender. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2023, roč. 135, č. 4, s. 932-942. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00377.2023>. [cit. 2025-06-17].

JANSE DE JONGE, X. A. K. Effects of the Menstrual Cycle on Exercise Performance. Online. *Sports Medicine*. 2003, roč. 33, č. 11, s. 833-851. ISSN 0112-1642. Dostupné z: <https://doi.org/10.2165/00007256-200333110-00004>. [cit. 2025-06-17].

JANSE DE JONGE, X. A. K. J.; BOOT, C. R. L.; THOM, J. M.; RUELL, P. A.; THOMPSON, M. W. The influence of menstrual cycle phase on skeletal muscle contractile characteristics in humans. Online. *The Journal of Physiology*. 2001, roč. 530, č. 1, s. 161-166. ISSN 0022-3751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.0161m.x>. [cit. 2025-06-17].

JANSE DE JONGE, X. A. K.; THOMPSON, M. W.; CHUTER, V. H.; SILK, L. N.; THOM, J. M. Exercise Performance over the Menstrual Cycle in Temperate and Hot, Humid Conditions. Online. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2012, roč. 44, č. 11, s. 2190-2198. ISSN 0195-9131. Dostupné z: <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182656f13>. [cit. 2025-06-17].

JOYNER, M. J. Physiological limits to endurance exercise performance: influence of sex. Online. *The Journal of Physiology*. 2017, roč. 595, č. 9, s. 2949-2954. ISSN 0022-3751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/JP272268>. [cit. 2025-06-17].

JOYNER, M. J.; HALLIWILL, J. R. Sympathetic vasodilatation in human limbs. *The Journal of Physiology*. 2000, roč. 526, č. 3, s. 471-80. PMID: 10922000. [cit. 2025-06-17].

KAJANTIE, E.; PHILLIPS, D. I.W. The effects of sex and hormonal status on the physiological response to acute psychosocial stress. Online. *Psychoneuroendocrinology*. 2006, roč. 31, č. 2, s. 151-178. ISSN 03064530. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2005.07.002>. [cit. 2025-06-17].

KATSUHIRA, J.; MATSUDAIRA, K.; IWAKIRI, K.; KIMURA, Y.; OHASHI, T. et al. Effect of Mental Processing on Low Back Load While Lifting an Object. Online. *Spine*. 2013, roč. 38, č. 13, s. E832-E839. ISSN 0362-2436. Dostupné z: <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e31829360e5>. [cit. 2025-06-17].

KELLER-ROSS, M. L.; PEREIRA, H. M.; PRUSE, J.; YOON, T.; SCHLINDER-DELAP, B. Stressor-induced increase in muscle fatigability of young men and women is predicted by strength but not voluntary activation. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2014, roč. 116, č. 7, s. 767-778. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01129.2013>. [cit. 2025-06-16].

KELLER, M. L.; PRUSE, J.; YOON, T.; SCHLINDER-DELAP, B.; HARKINS, A. Supraspinal Fatigue Is Similar in Men and Women for a Low-Force Fatiguing Contraction. Online. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2011, roč. 43, č. 10, s. 1873-1883. ISSN 0195-9131. Dostupné z: <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318216ebd4>. [cit. 2025-06-17].

KELLIS, E. The effects of fatigue on the resultant joint moment, agonist and antagonist electromyographic activity at different angles during dynamic knee extension efforts. Online. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 1999, roč. 9, č. 3, s. 191-199. ISSN 10506411. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(98\)00032-7](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(98)00032-7). [cit. 2025-06-16].

KENT-BRAUN, J. A.; NG, A. V.; DOYLE, J. W.; TOWSE, T. F. Human skeletal muscle responses vary with age and gender during fatigue due to incremental isometric exercise. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2002, roč. 93, č. 5, s. 1813-1823. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00091.2002>. [cit. 2025-06-17].

KIENS, B.; ROEPSTORFF, C.; GLATZ, J. F. C.; BONEN, A.; SCHJERLING, P. et al. Lipid-binding proteins and lipoprotein lipase activity in human skeletal muscle: influence of physical activity and gender. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2004, roč. 97, č. 4, s. 1209-1218. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01278.2003>. [cit. 2025-06-17].

KIM, A. M.; TINGEN, C. M.; WOODRUFF, T. K. Sex bias in trials and treatment must end. Online. *Nature*. 2010, roč. 465, č. 7299, s. 688-689. ISSN 0028-0836. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/465688a>. [cit. 2025-06-17].

KIRSCHBAUM, C.; HELLHAMMER, D. H. Salivary cortisol in psychoneuroendocrine research: Recent developments and applications. Online. *Psychoneuroendocrinology*. 1994, roč. 19, č. 4, s. 313-333. ISSN 03064530. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0306-4530\(94\)90013-2](https://doi.org/10.1016/0306-4530(94)90013-2). [cit. 2025-06-17].

KIRSCHBAUM, C.; WÜST, S.; HELLHAMMER, D. Consistent sex differences in cortisol responses to psychological stress. Online. *Psychosomatic Medicine*. 1992, roč. 54, č. 6, s. 648-657. ISSN 0033-3174. Dostupné z: <https://doi.org/10.1097/00006842-199211000-00004>. [cit. 2025-06-17].

KLUGER, B. M.; KRUPP, L. B.; ENOKA, R. M. Fatigue and fatigability in neurologic illnesses. Online. *Neurology*. 2013, roč. 80, č. 4, s. 409-416. ISSN 0028-3878. Dostupné z: <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e31827f07be>. [cit. 2025-06-16].

KNEALE, B. J.; CHOWIENCZYK, P. J.; BRETT, S. E.; COLTART, D. J.; RITTER, J. M. Gender differences in sensitivity to adrenergic agonists of forearm resistance vasculature. Online. *Journal of the American College of Cardiology*. 2000, roč. 36, č. 4, s. 1233-1238. ISSN 07351097. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(00\)00849-4](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(00)00849-4). [cit. 2025-06-17].

KOCH, I.; POLJAC, E.; MÜLLER, H.; KIESEL, A. Cognitive structure, flexibility, and plasticity in human multitasking—An integrative review of dual-task and task-switching research. Online. *Psychological Bulletin*. 2018, roč. 144, č. 6, s. 557-583. ISSN 1939-1455. Dostupné z: <https://doi.org/10.1037/bul0000144>. [cit. 2025-06-17].

KONRAD, P. *The ABC of EMG: A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography*. 2005. Noraxon INC. USA. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/270895853_The_abc_of_emg. [cit. 2025-06-17].

KOPUZ, C.; SANCAK, B.; OZNEBLI, S. On the incidence of third head of biceps brachii in Turkish neonates and adults. *Acta Anatomica Nipponica*. 1999. 74(3), 301–305. PMID: 10429374. [cit. 2025-06-17].

KRANTZ, G.; FORSMAN, M.; LUNDBERG, U. Consistency in physiological stress responses and electromyographic activity during induced stress exposure in women and men. Online. *Integrative Physiological & Behavioral Science*. 2004, roč. 39, č. 2, s. 105-118. ISSN 1053-881X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/BF02734276>. [cit. 2025-06-17].

KRIVICKAS, L. S.; FIELDING, R. A.; MURRAY, A.; CALLAHAN, D.; JOHANSSON, A. Sex Differences in Single Muscle Fiber Power in Older Adults. Online. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2006, roč. 38, č. 1, s. 57-63. ISSN 0195-9131. Dostupné z: <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000180357.58329.b1>. [cit. 2025-06-17].

KRIVICKAS, L. S.; SUH, D.; WILKINS, J.; HUGHES, V. A.; ROUBENOFF, R. Age- and Gender-Related Differences in Maximum Shortening Velocity of Skeletal Muscle Fibers. Online. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2001, roč. 80, č. 6, s. 447-455. ISSN 0894-9115. Dostupné z: <https://doi.org/10.1097/00002060-200106000-00012>. [cit. 2025-06-17].

KUDIELKA, B.M; BUSKE-KIRSCHBAUM, A; HELLHAMMER, D.H; KIRSCHBAUM, C. HPA axis responses to laboratory psychosocial stress in healthy elderly adults, younger adults, and children: impact of age and gender. Online. *Psychoneuroendocrinology*. 2004, ISSN 03064530. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0306-4530\(02\)00146-4](https://doi.org/10.1016/S0306-4530(02)00146-4). [cit. 2025-06-17].

KUCHINAD, R.A.; IVANOVA, T.D.; GARLAND, S.J. Modulation of motor unit discharge rate and H-reflex amplitude during submaximal fatigue of the human soleus muscle. Online. *Experimental Brain Research*. 2004, roč. 158, č. 3. ISSN 0014-4819. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00221-004-1907-0>. [cit. 2025-06-17].

LANDEN, S.; HIAM, D.; VOISIN, S.; JACQUES, M.; LAMON, S. Physiological and molecular sex differences in human skeletal muscle in response to exercise training. Online. *The Journal of Physiology*. 2021a, roč. 601, č. 3, s. 419-434. ISSN 0022-3751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/JP279499>. [cit. 2025-06-17].

LANDEN, S.; JACQUES, M.; HIAM, D.; ALVAREZ-ROMERO, J.; HARVEY, N. R. et al. Skeletal muscle methylome and transcriptome integration reveals profound sex differences related to muscle function and substrate metabolism. Online. *Clinical Epigenetics*. 2021b, roč. 13, č. 1. ISSN 1868-7075. Dostupné

z: <https://doi.org/10.1186/s13148-021-01188-1>. [cit. 2025-06-17].

LANDEN, S.; VOISIN, S.; CRAIG, J. M.; MCGEE, S. L.; LAMON, S.S. et al. Genetic and epigenetic sex-specific adaptations to endurance exercise. Online. *Epigenetics*.

2019, roč. 14, č. 6, s. 523-535. ISSN 1559-2294. Dostupné

z: <https://doi.org/10.1080/15592294.2019.1603961>. [cit. 2025-06-17].

LARIVIÈRE, CH.; GRAVEL, D.; GAGNON, D.; GARDINER, P.; BERTRAND A.

Gender influence on fatigability of back muscles during intermittent isometric contractions: A study of neuromuscular activation patterns. Online. *Clinical Biomechanics*.

2006, roč. 21, č. 9, s. 893-904. ISSN 02680033. Dostupné

z: <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2006.05.004>. [cit. 2025-06-17].

LARSSON, B.; KADI, F.; LINDVALL, B.; GERDLE, B. Surface electromyography and peak torque of repetitive maximum isokinetic plantar flexions in relation to aspects of muscle morphology. Online. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2006,

roč. 16, č. 3, s. 281-290. ISSN 10506411. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2005.07.009>. [cit. 2025-06-17].

LARSSON, S. E.; LARSSON, R.; ZHANG, Q.; CAI, H.; BERG, P. Effects of psychophysiological stress on trapezius muscles blood flow and electromyography during static load. Online. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1995, roč. 71, č. 6, s. 493-498. ISSN 0301-5548. Dostupné

z: <https://doi.org/10.1007/BF00238550>. [cit. 2025-06-17].

LEE, A.; BAXTER, J.; EISCHER, C.; GAGE, M.; HUNTER, S. K. Sex differences in neuromuscular function after repeated eccentric contractions of the knee extensor muscles. Online. *European Journal of Applied Physiology*. 2017, roč. 117, č. 6, s. 1119-

1130. ISSN 1439-6319. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3599-8>. [cit. 2025-06-17].

LEMLEY, K. J.; SENEFFELD, J.; HUNTER, S. K. a HOEGER BEMENT, M. Only women report increase in pain threshold following fatiguing contractions of the upper extremity. Online. *European Journal of Applied Physiology*. 2016, roč. 116, č. 7, s. 1379-1385. ISSN 1439-6319. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3389-8>. [cit. 2025-06-16].

LEWIS, M. H.; SIEDLER, M. R.; LAMADRID, P.; FORD, S.; SMITH, T. Sex Differences May Exist for Performance Fatigue but Not Recovery After Single-Joint Upper-Body and Lower-Body Resistance Exercise. Online. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2022, roč. 36, č. 6, s. 1498-1505. ISSN 1064-8011. Dostupné z: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004239>. [cit. 2025-06-17].

LI, J. L.; WANG, X. N.; FRASER, S. F.; CAREY, M. F.; WRIGLEY, T. V. et al. Effects of fatigue and training on sarcoplasmic reticulum Ca²⁺ regulation in human skeletal muscle. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2002, roč. 92, č. 3, s. 912-922. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00643.2000>. [cit. 2025-06-17].

LI, P.; YANG, X.; YIN, G.; GUO, J. Skeletal Muscle Fatigue State Evaluation with Ultrasound Image Entropy. Online. *Ultrasonic Imaging*. 2020, roč. 42, č. 6, s. 235-244. ISSN 0161-7346. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/0161734620952683>. [cit. 2025-06-17].

LINDHOLM, M. E.; HUSS, M.; SOLNESTAM, B. W.; KJELLQVIST, S.; LUNDEBERG, J. et al. The human skeletal muscle transcriptome: sex differences, alternative splicing, and tissue homogeneity assessed with RNA sequencing. Online. *The FASEB Journal*. 2014, roč. 28, č. 10, s. 4571-4581. ISSN 0892-6638. Dostupné z: <https://doi.org/10.1096/fj.14-255000>. [cit. 2025-06-17].

LISSEK, S.; HAUSMANN, M.; KNOSSALLA, F.; PETERS, S.; NICOLAS, V. et al. Sex differences in cortical and subcortical recruitment during simple and complex motor control: An fMRI study. Online. *NeuroImage*. 2007, roč. 37, č. 3, s. 912-926. ISSN 10538119. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.05.037>. [cit. 2025-06-17].

LIU, D.; SARTOR, N. A; NADER, G. A; GUTMANN, L.; TREUTELAAR, M. K. Skeletal muscle gene expression in response to resistance exercise: sex specific regulation. Online. *BMC Genomics*. 2010, roč. 11, č. 1. ISSN 1471-2164. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/1471-2164-11-659>. [cit. 2025-06-17].

LONGO, A.; FEDEROLF, P.; HAID, T.; MEULENBROEK, R. Effects of a cognitive dual task on variability and local dynamic stability in sustained repetitive arm movements using principal component analysis: a pilot study. Online. *Experimental Brain Research*. 2018, roč. 236, č. 6, s. 1611-1619. ISSN 0014-4819. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00221-018-5241-3>. [cit. 2025-06-17].

LOPES-RAMOS, C. M.; CHEN, CH.; KUIJER, M. L.; PAULSON, J. N.; SONAWANE, A. R. et al. Sex Differences in Gene Expression and Regulatory Networks across 29 Human Tissues. Online. *Cell Reports*. 2020, roč. 31, č. 12. ISSN 22111247. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2020.107795>. [cit. 2025-06-17].

LOPES-RAMOS, C. M.; KUIJER, M. L.; OGINO, S.; FUCHS, CH. S.; DEMEO, D. L. et al. Gene Regulatory Network Analysis Identifies Sex-Linked Differences in Colon Cancer Drug Metabolism. Online. *Cancer Research*. 2018, roč. 78, č. 19, s. 5538-5547. ISSN 0008-5472. Dostupné z: <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-18-0454>. [cit. 2025-06-17].

LORIST, M. M.; KERNELL, D.; MEIJMAN, T. F.; ZIJDEWIND, I. Motor fatigue and cognitive task performance in humans. Online. *The Journal of Physiology*. 2002, roč. 545, č. 1, s. 313-319. ISSN 0022-3751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2002.027938>. [cit. 2025-06-17].

LUNDBERG, U. Psychophysiology of work: Stress, gender, endocrine response, and work-related upper extremity disorders*. Online. *American Journal of Industrial Medicine*. 2002, roč. 41, č. 5, s. 383-392. ISSN 0271-3586. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/ajim.10038>. [cit. 2025-06-16].

LUNDBERG, U.; KADEFORS, R.; MELIN, B.; PALMERUD, G.; HASSMÉN, P. et al. Psychophysiological stress and emg activity of the trapezius muscle. Online. *International Journal of Behavioral Medicine*. 1994, roč. 1, č. 4, s. 354-370. ISSN 1070-5503. Dostupné z: https://doi.org/10.1207/s15327558ijbm0104_5. [cit. 2025-06-17].

MAHER, A. C.; FU, M. H.; ISFORT, R. J.; VARBANOV, A. R.; QU, X. A. Sex Differences in Global mRNA Content of Human Skeletal Muscle. Online. *PLoS ONE*. 2009, roč. 4, č. 7. ISSN 1932-6203. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006335>. [cit. 2025-06-17].

MASTROIANNI, A.C.; FADEN, R., FEDERMAN, D. Women and Health Research: Ethical and Legal Issues of Including Women in Clinical Studies: Volume I. Washington (DC): *National Academies Press (US)*; 1994. B, NIH Revitalization Act of 1993 Public Law 103-43. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK236531/>

MARTIN, P. G.; RATTEY, J. Central fatigue explains sex differences in muscle fatigue and contralateral cross-over effects of maximal contractions. Online. *Pflügers Archiv - European Journal of Physiology*. 2007, roč. 454, č. 6, s. 957-969. ISSN 0031-6768. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00424-007-0243-1>. [cit. 2025-06-17].

MARTIN, P. G.; SMITH, J. L.; BUTLER, J. E.; GANDEVIA, S. C.; TAYLOR, J. L. Fatigue-Sensitive Afferents Inhibit Extensor but Not Flexor Motoneurons in Humans. Online. *The Journal of Neuroscience*. 2006, roč. 26, č. 18, s. 4796-4802. ISSN 0270-6474. Dostupné z: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5487-05.2006>. [cit. 2025-06-17].

MARTIN, P. G.; WEERAKKODY, N.; GANDEVIA, S. C.; TAYLOR, J. L. Group III and IV muscle afferents differentially affect the motor cortex and motoneurons in humans. Online. *The Journal of Physiology*. 2008, roč. 586, č. 5, s. 1277-1289. ISSN 0022-3751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.140426>. [cit. 2025-06-17].

MAUGER, A. R. Fatigue is a pain—the use of novel neurophysiological techniques to understand the fatigue-pain relationship. Online. *Frontiers in Physiology*. 2013, roč. 4.

ISSN 1664-042X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00104>. [cit. 2025-06-17].

MAUGHAN, R. J.; HARMON, M.; LEIPER, J. B.; SALE, D.; DELMAN, A. Endurance capacity of untrained males and females in isometric and dynamic muscular contractions. Online. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1986, roč. 55, č. 4, s. 395-400. ISSN 0301-5548. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/BF00422739>. [cit. 2025-06-17].

MEEUSEN, R.; WATSON, P.; HASEGAWA, H.; ROELANDS, B.; PIACENTINI, M. F. Central Fatigue. Online. *Sports Medicine*. 2006, roč. 36, č. 10, s. 881-909. ISSN 0112-1642. Dostupné z: <https://doi.org/10.2165/00007256-200636100-00006>. [cit. 2025-06-17].

MEHTA, R. K.; AGNEW, M. J. Influence of mental workload on muscle endurance, fatigue, and recovery during intermittent static work. Online. *European Journal of Applied Physiology*. 2012, roč. 112, č. 8, s. 2891-2902. ISSN 1439-6319. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2264-x>. [cit. 2025-06-17].

MEHTA, R. K.; AGNEW, M. J. Subjective Evaluation of Physical and Mental Workload Interactions Across Different Muscle Groups. Online. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2014, roč. 12, č. 1, s. 62-68. ISSN 1545-9624. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/15459624.2014.942455>. [cit. 2025-06-17].

MEHTA, R. K.; PARASURAMAN, R. Effects of Mental Fatigue on the Development of Physical Fatigue. Online. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*. 2014, roč. 56, č. 4, s. 645-656. ISSN 0018-7208. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/0018720813507279>. [cit. 2025-06-17].

MICKLEWRIGHT, D.; ST CLAIR GIBSON, A.; GLADWELL, V.; AL SALMAN, A. Development and Validity of the Rating-of-Fatigue Scale. Online. *Sports Medicine*. 2017, roč. 47, č. 11, s. 2375-2393. ISSN 0112-1642. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0711-5>. [cit. 2025-06-17].

MILLER, A. E. J.; MACDOUGALL, J. D.; TARNOPOLSKY, M. A.; SALE, D. G. Gender differences in strength and muscle fiber characteristics. Online. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1993, roč. 66, č. 3, s. 254-262. ISSN 0301-5548. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/BF00235103>. [cit. 2025-06-17].

MILLER, V. M. In pursuit of scientific excellence: sex matters. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2012, roč. 112, č. 9, s. 1427-1428. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00303.2012>. [cit. 2025-06-17].

MIXTER, S.; MATHIASSEN, S. E.; JAHNCKE, H.; HYGGE, S.; LYSKOV, E. et al. Effects of Combining Occupationally Relevant Physical and Cognitive Tasks. A Systematic Review. Online. *Annals of Work Exposures and Health*. 2023, roč. 67, č. 3, s. 303-319. ISSN 2398-7308. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/annweh/wxac082>. [cit. 2025-06-16].

MOLARIUS, A.; JANSON, S. Self-rated health, chronic diseases, and symptoms among middle-aged and elderly men and women. Online. *Journal of Clinical Epidemiology*. 2002, roč. 55, č. 4, s. 364-370. ISSN 08954356. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0895-4356\(01\)00491-7](https://doi.org/10.1016/S0895-4356(01)00491-7). [cit. 2025-06-17].

MOLENAAR, J. P.; MCNEIL, CH. J.; BREDIUS, M. S.; GANDEVIA, S. C. Effects of aging and sex on voluntary activation and peak relaxation rate of human elbow flexors studied with motor cortical stimulation. Online. *AGE*. 2013, roč. 35, č. 4, s. 1327-1337. ISSN 0161-9152. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11357-012-9435-5>. [cit. 2025-06-17].

MOSSO, A. Fatigue. London: Allen & Unwin Ltd. 1915. [cit. 2025-06-17].

MÜLLER, T.; APPS, M. A.J. Motivational fatigue: A neurocognitive framework for the impact of effortful exertion on subsequent motivation. Online. *Neuropsychologia*. 2019, roč. 123, s. 141-151. ISSN 00283932. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.04.030>. [cit. 2025-06-17].

NAKATANI, T.; TANAKA; MIZUKAMI, S. Bilateral four-headed biceps brachii muscles: the median nerve and brachial artery passing through a tunnel formed by a

muscle slip from the accessory head. *Clinical Anatomy*. 1998. 11(3), 209–212. Dostupné z: [10.1002/\(SICI\)1098-2353\(1998\)11:3<209::AID-CA10>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2353(1998)11:3<209::AID-CA10>3.0.CO;2-N). [cit. 2025-06-16].

NAYAK, S. R.; PRABHU, L. V.; SIVANANDAN, R. Third head of biceps brachii: A rare occurrence in the Indian population. Online. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*. 2006, roč. 188, č. 2, s. 159-161. ISSN 09409602. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2005.10.004>. [cit. 2025-06-17].

NETO, H.; CAMILLI, J. A.; ANDRADE, J. C.T.; FILHO, J. M.; MARQUES, M. J. On the incidence of the biceps brachii third head in Brazilian whites and blacks. Online. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*. 1998, roč. 180, č. 1, s. 69-71. ISSN 09409602. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0940-9602\(98\)80137-4](https://doi.org/10.1016/S0940-9602(98)80137-4). [cit. 2025-06-17].

NOAKES, T. D. Fatigue is a Brain-Derived Emotion that Regulates the Exercise Behavior to Ensure the Protection of Whole Body Homeostasis. Online. *Frontiers in Physiology*. 2012, roč. 3. ISSN 1664-042X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00082>. [cit. 2025-06-16].

NOKOFF, N. J.; SENEFFELD, J.; KRAUSZ, C.; HUNTER, S.; JOYNER, M. Sex Differences in Athletic Performance: Perspectives on Transgender Athletes. Online. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 2023, roč. 51, č. 3, s. 85-95. ISSN 1538-3008. Dostupné z: <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000317>. [cit. 2025-06-17].

NORDANDER, C.; HANSSON, G.; OHLSSON, K.; ARVIDSSON, I.; BALOGH, I. et al. Exposure–response relationships for work-related neck and shoulder musculoskeletal disorders – Analyses of pooled uniform data sets. Online. *Applied Ergonomics*. 2016, roč. 55, s. 70-84. ISSN 00036870. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.01.010>. [cit. 2025-06-17].

NOTEBOOM, J. T.; FLESHNER, M.; ENOKA, R. M. Activation of the arousal response can impair performance on a simple motor task. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2001, roč. 91, č. 2, s. 821-831. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.91.2.821>. [cit. 2025-06-17].

NUZZO, J. L. Narrative Review of Sex Differences in Muscle Strength, Endurance, Activation, Size, Fiber Type, and Strength Training Participation Rates, Preferences, Motivations, Injuries, and Neuromuscular Adaptations. Online. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2023, roč. 37, č. 2, s. 494-536. ISSN 1064-8011. Dostupné z: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004329>. [cit. 2025-06-17].

NUZZO, J. L. Sex differences in skeletal muscle fiber types: A meta-analysis. Online. *Clinical Anatomy*. 2024, roč. 37, č. 1, s. 81-91. ISSN 0897-3806. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/ca.24091>. [cit. 2025-06-17].

OLIVA, M.; MUÑOZ-AGUIRRE, M.; KIM-HELLMUTH, S.; WUCHER, V.; GEWIRTZ, A. D. H. et al. The impact of sex on gene expression across human tissues. Online. *Science*. 2020, roč. 369, č. 6509. ISSN 0036-8075. Dostupné z: <https://doi.org/10.1126/science.aba3066>. [cit. 2025-06-17].

OVERSTREET, D. S.; STRATH, L. J.; JORDAN, M.; JORDAN, I. A.; HOBSON, J. M. et al. A Brief Overview: Sex Differences in Prevalent Chronic Musculoskeletal Conditions. Online. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2023, roč. 20, č. 5. ISSN 1660-4601. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ijerph20054521>. [cit. 2025-06-16].

PAGEAUX, B. Perception of effort in Exercise Science: Definition, measurement and perspectives. Online. *European Journal of Sport Science*. 2016, roč. 16, č. 8, s. 885-894. ISSN 1746-1391. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/17461391.2016.1188992>. [cit. 2025-06-17].

PAGEAUX, B.; LEPEERS, R. The effects of mental fatigue on sport-related performance. Online. In: *Sport and the Brain: The Science of Preparing, Enduring and Winning, Part C*. Progress in Brain Research. Elsevier, 2018, s. 291-315. ISBN

9780444641878. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2018.10.004>. [cit. 2025-06-17].

PARKER, B. A.; SMITHMYER, S. L.; PELBERG, J. A.; MISHKIN, A. D.; HERR, M. D. Sex differences in leg vasodilation during graded knee extensor exercise in young adults. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2007, roč. 103, č. 5, s. 1583-1591. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00662.2007>. [cit. 2025-06-18].

PASSATORE, M.; ROATTA, S. Influence of sympathetic nervous system on sensorimotor function: whiplash associated disorders (WAD) as a model. Online. *European Journal of Applied Physiology*. 2006, roč. 98, č. 5, s. 423-449. ISSN 1439-6319. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0312-8>. [cit. 2025-06-17].

PEREIRA, H. M.; HUNTER, S. K. Cognitive challenge as a probe to expose sex- and age-related differences during static contractions. Online. *Frontiers in Physiology*. 2023, roč. 14. ISSN 1664-042X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1166218>. [cit. 2025-06-16].

PEREIRA, H. M.; LARSON, R. D.; BEMBEN, D. A. Menstrual Cycle Effects on Exercise-Induced Fatigability. Online. *Frontiers in Physiology*. 2020, roč. 11. ISSN 1664-042X. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00517>.

PEREIRA, H. M.; SPEARS, V. C.; SCHLINDER-DELAP, B.; YOON, T.; NIELSON, K. A. et al. Age and sex differences in steadiness of elbow flexor muscles with imposed cognitive demand. Online. *European Journal of Applied Physiology*. 2015, roč. 115, č. 6, s. 1367-1379. ISSN 1439-6319. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3113-0>. [cit. 2025-06-17].

PICAVET, H. S.J.; SCHOUTEN, J. S.A.G. Musculoskeletal pain in the Netherlands: prevalences, consequences and risk groups, the DMC3-study. Online. *Pain*. 2003, roč. 102, č. 1, s. 167-178. ISSN 0304-3959. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/s0304-3959\(02\)00372-x](https://doi.org/10.1016/s0304-3959(02)00372-x). [cit. 2025-06-17].

PIHLAJAMAA, P.; SAHU, B.; JÄNNE, O. A. Determinants of Receptor- and Tissue-Specific Actions in Androgen Signaling. Online. *Endocrine Reviews*. 2015, roč. 36, č. 4, s. 357-384. ISSN 0163-769X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1210/er.2015-1034>. [cit. 2025-06-17].

PILLON, N. J.; GABRIEL, B. M.; DOLLET, L.; SMITH, J. A. B.; SARDÓN PUIG, L. et al. Transcriptomic profiling of skeletal muscle adaptations to exercise and inactivity. Online. *Nature Communications*. 2020, roč. 11, č. 1. ISSN 2041-1723. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13869-w>. [cit. 2025-06-17].

PINCIVERO, D. M.; GANDAIO, C. B.; ITO, Y. Gender-specific knee extensor torque, flexor torque, and muscle fatigue responses during maximal effort contractions. Online. *European Journal of Applied Physiology*. 2003, roč. 89, č. 2, s. 134-141. ISSN 1439-6319. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0739-5>. [cit. 2025-06-17].

PIPER, H. Electrophysillogie Muschliche Muskeln. Basel, Switzerland: Verlag von Julius, 1912. [cit. 2025-06-17].

PITCHER, J. B.; OGSTON, K. M.; MILES, T. S. Age and sex differences in human motor cortex input–output characteristics. Online. *The Journal of Physiology*. 2003, roč. 546, č. 2, s. 605-613. ISSN 0022-3751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2002.029454>. [cit. 2025-06-17].

POOLE, D. C.; BEHNKE, B. J.; MUSCH, T. I. The role of vascular function on exercise capacity in health and disease. Online. *The Journal of Physiology*. 2021, roč. 599, č. 3, s. 889-910. ISSN 0022-3751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/JP278931>. [cit. 2025-06-17].

PORTER, M. M.; STUART, S.; BOIJ, M.; LEXELL, J. Capillary supply of the tibialis anterior muscle in young, healthy, and moderately active men and women. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2002, roč. 92, č. 4, s. 1451-1457. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00744.2001>. [cit. 2025-06-17].

POWER, G. A.; DALTON, B. H.; RICE, CH. L.; VANDERVOORT, A. A. Delayed recovery of velocity-dependent power loss following eccentric actions of the ankle

dorsiflexors. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2010, roč. 109, č. 3, s. 669-676. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01254.2009>. [cit. 2025-06-17].

POWER, G. A.; DALTON, B. H.; RICE, CH. L.; VANDERVOORT, A. A. Peak power is reduced following lengthening contractions despite a maintenance of shortening velocity. Online. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2013, roč. 38, č. 12, s. 1196-1205. ISSN 1715-5312. Dostupné z: <https://doi.org/10.1139/apnm-2013-0092>. [cit. 2025-06-17].

QIU, J.; HELBIG, R. Body Posture as an Indicator of Workload in Mental Work. Online. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*. 2012, roč. 54, č. 4, s. 626-635. ISSN 0018-7208. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/0018720812437275>. [cit. 2025-06-17].

RACINE, M.; TOUSIGNANT-LAFLAMME, Y.; KLODA, L. A.; DION, D.; DUPUIS, G. et al. A systematic literature review of 10 years of research on sex/gender and experimental pain perception – Part 1: Are there really differences between women and men? Online. *Pain*. 2012, roč. 153, č. 3, s. 602-618. ISSN 0304-3959. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.pain.2011.11.025>. [cit. 2025-06-17].

RAINOLDI, A.; GALARDI, G.; MADERNA, L.; COMI, G.; LO CONTE, L. et al. Repeatability of surface EMG variables during voluntary isometric contractions of the biceps brachii muscle. Online. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 1999, roč. 9, č. 2, s. 105-119. ISSN 10506411. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(98\)00042-X](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(98)00042-X). [cit. 2025-06-17].

RASHEDI, E.; NUSSBAUM, M. A. Cycle time influences the development of muscle fatigue at low to moderate levels of intermittent muscle contraction. Online. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2016, roč. 28, s. 37-45. ISSN 10506411. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2016.03.001>. [cit. 2025-06-17].

RAZNAHAN, A.; PARIKSHAK, N. N.; CHANDRAN, V.; BLUMENTHAL, J. D.; CLASEN, L. S. et al. Sex-chromosome dosage effects on gene expression in humans.

Online. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2018, roč. 115, č. 28, s. 7398-7403. ISSN 0027-8424. Dostupné z: <https://doi.org/10.1073/pnas.1802889115>. [cit. 2025-06-17].

REALE, CH.; INVERNIZZI, F.; PANTEGHINI, C.; GARAVAGLIA, B. Genetics, sex, and gender. Online. *Journal of Neuroscience Research*. 2023, roč. 101, č. 5, s. 553-562. ISSN 0360-4012. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/jnr.24945>. [cit. 2025-06-17].

REKLING, J. C.; FUNK, G. D.; BAYLISS, D. A.; DONG, X.; FELDMAN, J. L. Synaptic Control of Motoneuronal Excitability. Online. *Physiological Reviews*. 2000, roč. 80, č. 2, s. 767-852. ISSN 0031-9333. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/physrev.2000.80.2.767>. [cit. 2025-06-17].

RIOUX, CH.; PARÉ, A.; LONDON-NADEAU, K.; JUSTER, R.; WEEDON, S. et al. Sex and gender terminology: a glossary for gender-inclusive epidemiology. Online. *Journal of Epidemiology and Community Health*. 2022, roč. 76, č. 8, s. 764-768. ISSN 0143-005X. <https://doi.org/10.1136/jech-2022-219171>.

ROATTA, S.; ARENDT-NIELSEN, L.; FARINA, D. Sympathetic-induced changes in discharge rate and spike-triggered average twitch torque of low-threshold motor units in humans. Online. *The Journal of Physiology*. 2008, roč. 586, č. 22, s. 5561-5574. ISSN 0022-3751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2008.160770>. [cit. 2025-06-17].

ROATTA, S.; FARINA, D. Sympathetic Actions on the Skeletal Muscle. Online. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 2010, roč. 38, č. 1, s. 31-35. ISSN 0091-6331. Dostupné z: <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e3181c5cde7>. [cit. 2025-06-17].

ROEPSTORFF, C.; THIELE, M.; HILLIG, T.; PILEGAARD, H.; RICHTER, E. A. Higher skeletal muscle α 2 AMPK activation and lower energy charge and fat oxidation in men than in women during submaximal exercise. Online. *The Journal of Physiology*. 2006, roč. 574, č. 1, s. 125-138. ISSN 0022-3751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.108720>. [cit. 2025-06-17].

ROSE, I. M.; NEUMANN, W. P.; HÄGG, G. M.; KENTTÄ, G. Fatigue and recovery during and after static loading. Online. *Ergonomics*. 2014, roč. 57, č. 11, s. 1696-1710. ISSN 0014-0139. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/00140139.2014.952347>. [cit. 2025-06-17].

ROWELL, L. B.; O'LEARY, D. S. Reflex control of the circulation during exercise: chemoreflexes and mechanoreflexes. Online. *Journal of Applied Physiology*. 1990, roč. 69, č. 2, s. 407-418. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jap-ppl.1990.69.2.407>. [cit. 2025-06-17].

ROY, S. H.; DE LUCA, C. J.: Evolving characteristics of the median frequency of the EMG signal. In: DESMENT, J. E.: Computer-Aided Electromyography and Expert Systems, Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1989, p. 205-221, ISBN 0444811060, [online], [cit. 27. 6. 2015], dostupné z: <http://www.bu.edu/nmrc/files/2013/12/B-15.pdf>

RUSS, D. W.; KENT-BRAUN, J. A. Sex differences in human skeletal muscle fatigue are eliminated under ischemic conditions. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2003, roč. 94, č. 6, s. 2414-2422. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jap-pphysiol.01145.2002>. [cit. 2025-06-17].

RUSS, D. W.; LANZA, I. R.; ROTHMAN, D.; KENT-BRAUN, J. A. Sex differences in glycolysis during brief, intense isometric contractions. Online. *Muscle & Nerve*. 2005, roč. 32, č. 5, s. 647-655. ISSN 0148-639X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/mus.20396>. [cit. 2025-06-17].

SARWAR, R; NICLOS, B. B.; RUTHERFORD, O. M. Changes in muscle strength, relaxation rate and fatiguability during the human menstrual cycle. Online. *The Journal of Physiology*. 1996, roč. 493, č. 1, s. 267-272. ISSN 0022-3751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1996.sp021381>. [cit. 2025-06-17].

SCOTT, W., STEVENS, J., BINDER-MACLEOD, S. A. Human skeletal muscle fiber type classifications. *Phys Ther*. 2001 Nov;81(11):1810-6. PMID: 11694174.

SENEFELD, J. W.; HUNTER, S. K.; COLEMAN, D.; JOYNER, M. J. Case Studies in Physiology: Male to female transgender swimmer in college athletics. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2023, roč. 134, č. 4, s. 1032-1037. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00751.2022>. [cit. 2025-06-17].

SENEFELD, J.; PEREIRA, H. M.; ELLIOTT, N.; YOON, T.; HUNTER, S. K. Sex Differences in Mechanisms of Recovery after Isometric and Dynamic Fatiguing Tasks. Online. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2018, roč. 50, č. 5, s. 1070-1083. ISSN 0195-9131. Dostupné z: <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001537>. [cit. 2025-06-17].

SENEFELD, J.; YOON, T.; BEMENT, M. H.; HUNTER, S. K. Fatigue and recovery from dynamic contractions in men and women differ for arm and leg muscles. Online. *Muscle & Nerve*. 2013, roč. 48, č. 3, s. 436-439. ISSN 0148-639X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/mus.23836>. [cit. 2025-06-17].

SEWRIGHT, K. A.; HUBAL, M. J.; KEARNS, A.; HOLBROOK, M. T.; CLARKSON, P. M. Sex Differences in Response to Maximal Eccentric Exercise. Online. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2008, roč. 40, č. 2, s. 242-251. ISSN 0195-9131. Dostupné z: <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31815aedda>. [cit. 2025-06-17].

SHAIKH, S.; COBB, S.V.G.; GOLIGHTLY, D.; SEGAL, J.I.; HASLEGRAVE, C.M. Investigating the effects of physical and cognitive demands on the quality of performance under different pacing levels. Online. *WORK: A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation*. 2012, roč. 41, č. S1, s. 1625-1631. ISSN 1051-9815. Dostupné z: <https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0363-1625>. [cit. 2025-06-17].

SHORT, S. E.; YANG, Y. C.; JENKINS, T. M. Sex, Gender, Genetics, and Health. Online. *American Journal of Public Health*. 2013, roč. 103, č. S1, s. S93-S101. ISSN 0090-0036. Dostupné z: <https://doi.org/10.2105/AJPH.2013.301229>. [cit. 2025-06-17].

SCHAUMBERG, M. A.; JENKINS, D. G.; JANSE DE JONGE, X. A.K.; EMMERTON, L. M.; SKINNER, T. L. Three-step method for menstrual and oral contraceptive

cycle verification. Online. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2017, roč. 20, č. 11, s. 965-969. ISSN 14402440. [cit. 2025-06-17].

SCHIAFFINO, S.; REGGIANI, C. Fiber Types in Mammalian Skeletal Muscles. Online. *Physiological Reviews*. 2011, roč. 91, č. 4, s. 1447-1531. ISSN 0031-9333. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/physrev.00031.2010>. [cit. 2025-06-17].

SCHIEBINGER, L.; LEOPOLD, S.; MILLER, S. VIRGINIA, M. Editorial policies for sex and gender analysis. Online. *The Lancet*. 2016, roč. 388, č. 10062, s. 2841-2842. ISSN 01406736. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)32392-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)32392-3). [cit. 2025-06-17].

SIMONEAU, J. A.; BOUCHARD, C. Human variation in skeletal muscle fiber-type proportion and enzyme activities. Online. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. 1989, roč. 257, č. 4, s. E567-E572. ISSN 0193-1849. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1989.257.4.E567>. [cit. 2025-06-17].

SIMS, S. T.; HEATHER, A. K. Myths and Methodologies: Reducing scientific design ambiguity in studies comparing sexes and/or menstrual cycle phases. Online. *Experimental Physiology*. 2018, roč. 103, č. 10, s. 1309-1317. ISSN 0958-0670. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/EP086797>.

SKURVYDAS, A.; BRAZAITIS, M.; ANDREJEVA, J.; MICKEVICIENE, D.; STRECKIS, V. The effect of multiple sclerosis and gender on central and peripheral fatigue during 2-min MVC. Online. *Clinical Neurophysiology*. 2011, roč. 122, č. 4, s. 767-776. ISSN 13882457. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2010.10.005>. [cit. 2025-06-17].

SPURWAY, N. C.; WATSON, H.; MCMILLAN, K.; CONNOLLY, G. The effect of strength training on the apparent inhibition of eccentric force production in voluntarily activated human quadriceps. Online. *European Journal of Applied Physiology*. 2000, roč. 82, č. 5-6, s. 374-380. ISSN 1439-6319. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s004210000221>. [cit. 2025-06-17].

SRINIVASAN, D.; MATHIASSEN, S. E; HALLMAN, D. M.; SAMANI, A.; MADELEINE, P. et al. Effects of concurrent physical and cognitive demands on muscle activity and heart rate variability in a repetitive upper-extremity precision task. Online. *European Journal of Applied Physiology*. 2016, roč. 116, č. 1, s. 227-239. ISSN 1439-6319. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3268-8>. [cit. 2025-06-16].

STARON, R. S.; HAGERMAN, F. C.; HIKIDA, R. S.; MURRAY, T. F.; HOSTLER, D. P. Fiber Type Composition of the Vastus Lateralis Muscle of Young Men and Women. Online. *Journal of Histochemistry & Cytochemistry*. 2000, roč. 48, č. 5, s. 623-629. ISSN 0022-1554. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/002215540004800506>. [cit. 2025-06-17].

STEFANICK, M. L; SCHIEBINGER, L. Analysing how sex and gender interact. Online. *The Lancet*. 2020, roč. 396, č. 10262, s. 1553-1554. ISSN 01406736. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)32346-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)32346-1). [cit. 2025-06-17].

STOCK, M. S.; BECK, T. W.; DEFREITAS, J. M.; YE, X. Sex Comparisons for Relative Peak Torque and Electromyographic Mean Frequency During Fatigue. Online. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 2013, roč. 84, č. 3, s. 345-352. ISSN 0270-1367. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/02701367.2013.810538>. [cit. 2025-06-17].

SZETO, G. P. Y.; STRAKER, L. M.; O'SULLIVAN, P. B. Examining the low, high and range measures of muscle activity amplitudes in symptomatic and asymptomatic computer users performing typing and mousing tasks. Online. *European Journal of Applied Physiology*. 2009, roč. 106, č. 2, s. 243-251. ISSN 1439-6319. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1019-4>. [cit. 2025-06-17].

TARNOPOLSKY, M. A. Gender Differences in Substrate Metabolism During Endurance Exercise. Online. *Canadian Journal of Applied Physiology*. 2000, roč. 25, č. 4, s. 312-327. ISSN 1066-7814. Dostupné z: <https://doi.org/10.1139/h00-024>. [cit. 2025-06-17].

TARNOPOLSKY, M. A. Sex Differences in Exercise Metabolism and the Role of 17-Beta Estradiol. Online. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2008, roč. 40, č. 4, s.

648-654. ISSN 0195-9131. Dostupné

z: <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31816212ff>. [cit. 2025-06-17].

TARNOPOLSKY, M. A.; RENNIE, C. D.; ROBERTSHAW, H. A.; FEDAK-TARNOPOLSKY, S. N.; DEVRIES, M. C. et al. Influence of endurance exercise training and sex on intramyocellular lipid and mitochondrial ultrastructure, substrate use, and mitochondrial enzyme activity. Online. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 2007, roč. 292, č. 3, s. R1271-R1278. ISSN 0363-6119. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00472.2006>. [cit. 2025-06-17].

TAYLOR, J. L.; AMANN, M.; DUCHATEAU, J.; MEEUSEN, R.; RICE, CH. L. Neural Contributions to Muscle Fatigue. Online. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2016, roč. 48, č. 11, s. 2294-2306. ISSN 0195-9131. Dostupné z: <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000923>. [cit. 2025-06-16].

TAYLOR, R. W.; GRANT, A. M.; WILLIAMS, S. M.; GOULDING, A. Sex Differences in Regional Body Fat Distribution From Pre- to Postpuberty. Online. *Obesity*. 2010, roč. 18, č. 7, s. 1410-1416. ISSN 1930-7381. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/oby.2009.399>. [cit. 2025-06-17].

THOMAS, G. D.; SEGAL, S. S. Neural control of muscle blood flow during exercise. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2004, roč. 97, č. 2, s. 731-738. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00076.2004>. [cit. 2025-06-17].

THOMPSON, B. C.; FADIA, T.; PINCIVERO, D. M.; SCHEUERMANN, B. W. Forearm blood flow responses to fatiguing isometric contractions in women and men. Online. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. 2007, roč. 293, č. 1, s. H805-H812. ISSN 0363-6135. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/ajpheart.01136.2006>. [cit. 2025-06-17].

TODD, G.; TAYLOR, J. L.; GANDEVIA, S. C. Measurement of voluntary activation of fresh and fatigued human muscles using transcranial magnetic stimulation. Online. *The Journal of Physiology*. 2003, roč. 551, č. 2, s. 661-671. ISSN 0022-3751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.044099>. [cit. 2025-06-17].

TOFT, I.; LINDAL, S.; BØNAA, K. H.; JENSSEN, T. Quantitative measurement of muscle fiber composition in a normal population. Online. *Muscle & Nerve*. 2003, roč. 28, č. 1, s. 101-108. ISSN 0148-639X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/mus.10373>. [cit. 2025-06-17].

TOMMASIN, S.; DE LUCA, F.; FERRANTE, I.; GURRERI, F.; CASTELLI, L. Cognitive fatigability is a quantifiable distinct phenomenon in multiple sclerosis. Online. *Journal of Neuropsychology*. 2020, roč. 14, č. 3, s. 370-383. ISSN 1748-6645. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/jnp.12197>. [cit. 2025-06-17].

TOMPOROWSKI, P. D.; ALBRECHT, CH.; PENDLETON, D. M. Effects of Isometric Hand-Grip Muscle Contraction on Young Adults' Free Recall and Recognition Memory. Online. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 2017, roč. 88, č. 1, s. 95-100. ISSN 0270-1367. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/02701367.2016.1264567>. [cit. 2025-06-17].

TRAPPE, S.; GALLAGHER, P.; HARBER, M.; CARRITHERS, J.; FLUCKEY, J. Single Muscle Fibre Contractile Properties in Young and Old Men and Women. Online. *The Journal of Physiology*. 2003, roč. 552, č. 1, s. 47-58. ISSN 0022-3751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.044966>. [cit. 2025-06-17].

TREASTER, D.; BURR, D. Gender differences in prevalence of upper extremity musculoskeletal disorders. Online. *Ergonomics*. 2004, roč. 47, č. 5, s. 495-526. ISSN 0014-0139. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/00140130310001638171>. [cit. 2025-06-16].

TUCKER, R. The anticipatory regulation of performance: the physiological basis for pacing strategies and the development of a perception-based model for exercise performance. Online. *British Journal of Sports Medicine*. 2009, roč. 43, č. 6, s. 392-400. ISSN 0306-3674. Dostupné z: <https://doi.org/10.1136/bjsm.2008.050799>. [cit. 2025-06-17].

URWIN, M.; SYMMONS, D.; ALLISON, T.; BRAMMAH, T.; BUSBY, H. et al. Estimating the burden of musculoskeletal disorders in the community: the comparative prevalence of symptoms at different anatomical sites, and the relation to social deprivation. Online. *Annals of the Rheumatic Diseases*. 1998, roč. 57, č. 11, s. 649-655. ISSN 00034967. Dostupné z: <https://doi.org/10.1136/ard.57.11.649>. [cit. 2025-06-17].

VAN RIJN, R. M.; HUISSTEDDE, B. MA; KOES, B. W.; BURDORF, A. Associations between work-related factors and specific disorders of the shoulder – a systematic review of the literature. Online. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*. 2010, roč. 36, č. 3, s. 189-201. ISSN 0355-3140. Dostupné z: <https://doi.org/10.5271/sjweh.2895>. [cit. 2025-06-17].

VANDEN NOVEN, M. L.; ANSELMO, M.; TAHSIN, CH. T.; CARTER, J. R.; KELLER-ROSS, M. L. A review of the historical use of sex as a biological variable in the American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology. Online. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. 2023, roč. 325, č. 4, s. H768-H773. ISSN 0363-6135. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00278.2023>. [cit. 2025-06-16].

VANDEN NOVEN, M. L.; PEREIRA, H. M.; YOON, T.; STEVENS, A. A.; NIELSON, K. A. et al. Motor Variability during Sustained Contractions Increases with Cognitive Demand in Older Adults. Online. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2014, roč. 6. ISSN 1663-4365. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00097>. [cit. 2025-06-17].

VEIERSTED, K. B.; WESTGAARD, R. H.; ANDERSEN, P. Pattern of muscle activity during stereotyped work and its relation to muscle pain. Online. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 1990, roč. 62, č. 1, s. 31-41. ISSN 0340-0131. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/BF00397846>. [cit. 2025-06-17].

VENHORST, A.; MICKLEWRIGHT, D.; NOAKES, T. D. Perceived Fatigability: Utility of a Three-Dimensional Dynamical Systems Framework to Better Understand the Psychophysiological Regulation of Goal-Directed Exercise Behaviour. Online. *Sports Medicine*. 2018, roč. 48, č. 11, s. 2479-2495. ISSN 0112-1642. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0986-1>. [cit. 2025-06-17].

VERA-GARCIA, F. J.; MORESIDE, J. M.; MCGILL, S. M. MVC techniques to normalize trunk muscle EMG in healthy women. Online. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2010, roč. 20, č. 1, s. 10-16. ISSN 10506411. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2009.03.010>. [cit. 2025-06-16].

VOELCKER-REHAGE, C.; STRONGE, A. J.; ALBERTS, J. L. Age-related Differences in Working Memory and Force Control under Dual-task Conditions. Online. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*. 2006, roč. 13, č. 3-4, s. 366-384. ISSN 1382-5585. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/138255890969339>. [cit. 2025-06-17].

VØLLESTAD, N. K. Measurement of human muscle fatigue. Online. *Journal of Neuroscience Methods*. 1997, roč. 74, č. 2, s. 219-227. ISSN 01650270. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0165-0270\(97\)02251-6](https://doi.org/10.1016/S0165-0270(97)02251-6). [cit. 2025-06-17].

VRBOVÁ, M. Vliv tapu aplikovaného v průběhu svalových vláken na aktivitu pod ním ležícího svalu. *Dizertační práce*, vedoucí Pavlů, Dagmar. Praha: Univerzita Karlova, Fakulta tělesné výchovy a sportu, Fyzioterapie, 2016. [cit. 2025-06-17].

VYMYSLICKÝ, P.; PAVLŮ, D.; PÁNEK, D. Effect of Mental Task on Sex Differences in Muscle Fatigability: A Review. Online. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022, roč. 19, č. 20. ISSN 1660-4601. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ijerph192013621>. [cit. 2025-06-16].

WAN, J.; QIN, Z.; WANG, P.; SUN, Y.; LIU, X. Muscle fatigue: general understanding and treatment. Online. *Experimental & Molecular Medicine*. 2017, roč. 49, č. 10, s. e384-e384. ISSN 1226-3613. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/emm.2017.194>. [cit. 2025-06-18].

WANG, CH.; DING, M.; KLUGER, B. M. Change in intraindividual variability over time as a key metric for defining performance-based cognitive fatigability. Online. *Brain and Cognition*. 2014, roč. 85, s. 251-258. ISSN 02782626. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2014.01.004>. [cit. 2025-06-17].

WANG, J.; KORCZYKOWSKI, M.; RAO, H.; FAN, Y.; PLUTA, J. et al. Gender difference in neural response to psychological stress. Online. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 2007, roč. 2, č. 3, s. 227-239. ISSN 1749-5024. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/scan/nsm018>. [cit. 2025-06-17].

WANG, Y.; SZETO, G. P. Y.; CHAN, CH. C. H. Effects of physical and mental task demands on cervical and upper limb muscle activity and physiological responses during computer tasks and recovery periods. Online. *European Journal of Applied Physiology*. 2011, roč. 111, č. 11, s. 2791-2803. ISSN 1439-6319. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1908-1>. [cit. 2025-06-17].

WASMUND, W. L.; WESTERHOLM, E. C.; WATENPAUGH, D. E.; WASMUND, S. L.; SMITH, M. L. Interactive effects of mental and physical stress on cardiovascular control. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2002, roč. 92, č. 5, s. 1828-1834. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00019.2001>. [cit. 2025-06-17].

WATANABE, K.; HOLOBAR, A.; KOUZAKI, M.; OGAWA, M.; AKIMA, H. et al. Age-related changes in motor unit firing pattern of vastus lateralis muscle during low-moderate contraction. Online. *AGE*. 2016, roč. 38, č. 3. ISSN 0161-9152. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11357-016-9915-0>. [cit. 2025-06-16].

WATANABE, K.; MIYAMOTO, T.; TANAKA, Y.; FUKUDA, K.; MORITANI, T. Type 2 diabetes mellitus patients manifest characteristic spatial EMG potential distribution pattern during sustained isometric contraction. Online. *Diabetes Research and Clinical Practice*. 2012, roč. 97, č. 3, s. 468-473. ISSN 01688227. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2012.03.004>. [cit. 2025-06-16].

WELLE, S.; TAWIL, R.; THORNTON, CH. A.; FAIRHEAD, C. Sex-Related Differences in Gene Expression in Human Skeletal Muscle. Online. *PLoS ONE*. 2008, roč. 3, č. 1. ISSN 1932-6203. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001385>. [cit. 2025-06-16].

WEST, W.; HICKS, A.; CLEMENTS, L.; DOWLING, J. The relationship between voluntary electromyogram, endurance time and intensity of effort in isometric handgrip exercise. Online. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1995, roč. 71, č. 4, s. 301-305. ISSN 0301-5548. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/BF00240408>. [cit. 2025-06-17].

WESTERBLAD, H. Acidosis Is Not a Significant Cause of Skeletal Muscle Fatigue. Online. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2016, roč. 48, č. 11, s. 2339-2342. ISSN 0195-9131. Dostupné z: <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001044>. [cit. 2025-06-17].

WHITTAKER, R. L.; SONNE, M. W.; POTVIN, J. R. Ratings of perceived fatigue predict fatigue induced declines in muscle strength during tasks with different distributions of effort and recovery. Online. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2019, roč. 47, s. 88-95. ISSN 10506411. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2019.05.012>. [cit. 2025-06-17].

WIJNHOFEN, H. A. H.; DE VET, H. C. W.; PICALET, H. S. J. Prevalence of Musculoskeletal Disorders Is Systematically Higher in Women Than in Men. Online. *The Clinical Journal of Pain*. 2006, roč. 22, č. 8, s. 717-724. ISSN 0749-8047. Dostupné z: <https://doi.org/10.1097/01.ajp.0000210912.95664.53>. [cit. 2025-06-16].

WILLIAMSON, A.; LOMBARDI, D. A.; FOLKARD, S.; STUTTS, J.; COURTNEY, T. K. et al. The link between fatigue and safety. Online. *Accident Analysis & Prevention*. 2011, roč. 43, č. 2, s. 498-515. ISSN 00014575. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.11.011>. [cit. 2025-06-16].

WILLMANN, M.; BOLMONT, B. The trapezius muscle uniquely lacks adaptive process in response to a repeated moderate cognitive stressor. Online. *Neuroscience Letters*. 2012, roč. 506, č. 1, s. 166-169. ISSN 03043940. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2011.10.073>. [cit. 2025-06-17].

WIZEMANN, T. M.; MARY-LOU, P. Exploring the Biological Contributions to Human Health. Online. Washington, D.C: *National Academies Press*, 2001. ISBN 978-0-309-07281-6. Dostupné z: <https://doi.org/10.17226/10028>. [cit. 2025-06-17].

WONG, S. W.; KIMMERLY, D. S.; MASSÉ, N.; MENON, R. S.; CECETTO, D. F. et al. Sex differences in forebrain and cardiovagal responses at the onset of isometric handgrip exercise: a retrospective fMRI study. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2007, roč. 103, č. 4, s. 1402-1411. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00171.2007>. [cit. 2025-06-17].

WRETTLING, M.-L.; HENRIKSSON-LARSEN, K. Mechanical Output and Electromyographic Parameters in Males and Females During Fatiguing Isokinetic Knee-Extensions. Online. *International Journal of Sports Medicine*. 1998, roč. 19, č. 06, s. 401-407. ISSN 0172-4622. Dostupné z: <https://doi.org/10.1055/s-2007-971936>. [cit. 2025-06-17].

WRIGHT, J. R.; MCCLOSKEY, D. I.; FITZPATRICK, R. C. Effects of muscle perfusion pressure on fatigue and systemic arterial pressure in human subjects. Online. *Journal of Applied Physiology*. 1999, roč. 86, č. 3, s. 845-851. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.1999.86.3.845>. [cit. 2025-06-17].

WÜST, R. C. I.; MORSE, CH. I.; DE HAAN, A.; JONES, D. A.; DEGENS, H. Sex differences in contractile properties and fatigue resistance of human skeletal muscle. Online. *Experimental Physiology*. 2008, roč. 93, č. 7, s. 843-850. ISSN 0958-0670. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2007.041764>. [cit. 2025-06-17].

YANG, Q.; FANG, Y.; SUN, CH.; SIEMIONOW, V.; RANGANATHAN, V. K. et al. Weakening of functional corticomuscular coupling during muscle fatigue. Online. *Brain Research*. 2009, ISSN 00068993. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2008.10.074>

YOON, T.; DOYEL, R.; WIDULE, C.; HUNTER, S. K. Sex differences with aging in the fatigability of dynamic contractions. Online. *Experimental Gerontology*. 2015, roč. 70, s. 1-10. ISSN 05315565. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.exger.2015.07.001>. [cit. 2025-06-17].

YOON, T.; KELLER, M. L.; DE-LAP, B. S.; HARKINS, A.; LEPEERS, R. Sex differences in response to cognitive stress during a fatiguing contraction. Online. *Journal of Applied Physiology*. 2009, roč. 107, č. 5, s. 1486-1496. ISSN 8750-7587. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00238.2009>. [cit. 2025-06-16].

YOON, T.; SCHLINDER DELAP, B.; GRIFFITH, E. E.; HUNTER, S. K. Mechanisms of fatigue differ after low- and high-force fatiguing contractions in men and women. Online. *Muscle & Nerve*. 2007, roč. 36, č. 4, s. 515-524. ISSN 0148-639X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/mus.20844>. [cit. 2025-06-17].

ZAGATTO, A. M.; DE POLI, R. A. B.; MALTA, E. S.; FLEITAS-PANIAGUA, P. R.; DIEFENTHAELER, F. et al. Is the time to task failure during severe-intensity exercise associated with muscle, blood, and respiratory changes? Online. *Physiological Genomics*. 2025, roč. 57, č. 4, s. 227-239. ISSN 1094-8341. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00040.2024>. [cit. 2025-06-16].

ZORE, T.; PALAFOX, M.; REUE, K. Sex differences in obesity, lipid metabolism, and inflammation—A role for the sex chromosomes? Online. *Molecular Metabolism*. 2018, roč. 15, s. 35-44. ISSN 22128778. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.mol-met.2018.04.003>. [cit. 2025-06-17].

9 Seznam obrázků

Obrázek 1. Procentuální zastoupení plochy svalových vláken typu II v kosterních svalech u mužů a u žen.	24
Obrázek 2. Pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti u izometrických kontrakcí.....	28
Obrázek 3. Experimentální protokol.....	52
Obrázek 4. Schematické znázornění polohy účastníka při měření.	53

10 Seznam tabulek

Tabulka 1. Proměnné ovlivňující pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti.....	26
Tabulka 2. Charakteristika studií zaměřených na vliv mentální zátěže na pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti.....	45
Tabulka 3. Výsledky studií zaměřených na vliv mentální zátěže na pohlavní rozdíly ve svalové unavitelnosti.....	46
Tabulka 4. Charakteristika výzkumného souboru.	56
Tabulka 5. Efekt sezení na čas do selhání.	57
Tabulka 6. Efekt pohlaví na čas do selhání.	57
Tabulka 7. Pokles mediánu frekvence.	59
Tabulka 8. Efekt pohlaví na škálu vnímané únavy během kontrolního sezení.....	60
Tabulka 9. Efekt pohlaví na škálu vnímané únavy během experimentálního sezení.	62

11 Seznam grafů

Graf 1. Grafické znázornění rozdělení dat pro čas do selhání (TTF) u mužů a žen během kontrolního sezení.....	57
Graf 2. Grafické znázornění rozdělení dat pro čas do selhání (TTF) u mužů a žen během experimentálního sezení.	58
Graf 3. Grafické znázornění rozdělení dat pro procentuální pokles mediánu frekvence (MDF) u mužů a žen během kontrolního sezení.....	59
Graf 4. Grafické znázornění rozdělení dat pro procentuální pokles mediánu frekvence (MDF) u mužů a žen během experimentálního sezení.	60
Graf 5. Grafické znázornění rozdělení dat pro hodnoty škály vnímané únavy (RPF) před měření MVC u mužů a žen během kontrolního sezení.....	61
Graf 6. Grafické znázornění rozdělení dat pro hodnoty škály vnímané únavy (RPF) po měření MVC u mužů a žen během kontrolního sezení.....	61
Graf 7. Grafické znázornění rozdělení dat pro hodnoty škály vnímané únavy (RPF) po čtyřminutovém klidovém sedu u mužů a žen během kontrolního sezení.	62
Graf 8. Grafické znázornění rozdělení dat pro hodnoty škály vnímané únavy (RPF) před měření MVC u mužů a žen během experimentálního sezení.	63
Graf 9. Grafické znázornění rozdělení dat pro hodnoty škály vnímané únavy (RPF) po měření MVC u mužů a žen během experimentálního sezení.	63
Graf 10. Grafické znázornění rozdělení dat pro hodnoty škály vnímané únavy (RPF) po čtyřminutovém klidovém sedu se současnou mentální zátěží u mužů a žen během experimentálního sezení.	64

12 Seznam příloh

Příloha 1. Vyjádření Etické komise FTVS UK.....	142
Příloha 2. Informovaný souhlas (vzor)	144

Příloha 1. Vyjádření Etické komise FTVS UK

UNIVERZITA KARLOVA
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU
Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešelavín

Žádost o vyjádření Etické komise UK FTVS

k projektu výzkumné, kvalifikační či seminární práce zahrnující lidské účastníky

Název projektu: Pohlavní rozdíly vybraných indikátorů nástupu svalové únavy během izometrické kontrakce m. biceps brachii u zdravých jedinců

Forma projektu: výzkumná práce

Období realizace: červenec 2022 – listopad 2022

Výzkum bude realizován v souladu s platnými epidemiologickými opatřeními Ministerstva zdravotnictví ČR.

Předkladatel: Mgr. Patrik Vymyslický, UK FTVS – katedra fyzioterapie

Hlavní řešitel: Mgr. Patrik Vymyslický, UK FTVS – katedra fyzioterapie

Místo výzkumu (pracoviště): Fakulta tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy, katedra fyzioterapie (kineziologická laboratoř)

Spoluřešitel(é): Mgr. Klára Novotová, UK FTVS – katedra fyzioterapie, Sageshima Hirpfumi (MSc.), UK FTVS – katedra fyzioterapie

Vedoucí práce (v případě studentské práce): doc. PaedDr. Dagmar Pavlů, CSc.

Konzultant: MUDr. David Pánek, Ph.D.

Finanční podpora: GAUK

Popis projektu: Cílem této výzkumné práce je objektivizovat pohlavní rozdíly nástupu svalové únavy, a to v rámci izometrické kontrakce m. biceps brachii u zdravých mladých jedinců. Sběr dat bude probíhat pomocí zařízení EMG (Telemetry 16, firma Noraxon Inc., USA) a pomocí laktátoměru Biosen C-line (vpichem do prstu na desinfikovaném místě testované končetiny) v kineziologické laboratoři na katedře fyzioterapie, FTVS UK. Od téže firmy budou použity samolepící elektrody Ag/AgCl, které budou opatřeny vodivým gelem. Elektrody budou umístěny na kůži na proximální a distální část m. biceps brachii na dominantní paži. U probandů bude indukována svalová únava co nejdelší dobou trvající izometrickou kontrakcí m. biceps brachii dominantní horní končetiny s 90° flexí v loketním kloubu. U obou pohlaví bude použita zátěž 30 % z maximální volní kontrakce. Každou minutu bude také odebrána subjektivní míra únavy pomocí standardizovaného protokolu (hodnoty 0-10).

Charakteristika účastníků výzkumu: Předpokládaný počet účastníků je 30, tj. 15 žen a 15 mužů. Ve věku 19-25 let. Do studie nebudou zařazeni probandí, kteří v minulosti prodělali trauma vyšetřované horní končetiny, dále jedinci trpící vrozenou či získanou vývojovou vadou vyšetřované horní končetiny a také ti, kteří trpí či v minulosti trpěli nemocí spojenou s poruchou nervosvalové dráždivosti a nervosvalového přenosu, dále jedinci s akutním infekčním onemocněním. Dále nebudou zařazeni sportovci, kteří se na profesionální úrovni věnují vytrvalostním aktivitám. Za účelem homogenity výzkumného vzorku budou vybráni jedinci stejné věkové kategorie a z důvodu prevence zkresení měření povrchovou EMG budou vybráni probandí, kteří splňují BMI 18,5-25 (tj. norma). Výběr probandů zajistí řešitel a spoluřešitelé. Ověření těchto skutečností proběhne před samotným měřením, přičemž instrukce k možné účasti obdrží potenciální probandí již v e-mailové zprávě či zprávě přes sociální síť – zde také bude probíhat nábor klientů (hromadný mail studentům jednotlivých ročníků UK FTVS, a to, vzhledem k realizaci na katedře fyzioterapie, primárně studentům dané katedry).

Zajištění bezpečnosti: Rizika zde mohou být spojena s pohybováním se po kineziologické laboratoři, což se bude řešitel společně se spoluřešiteli snažit eliminovat pomocí důkladné instruktáže. Sběr dat bude invazivní i neinvazivní. Invazivně je potřeba odebrat vzorek kapilární krve, a to pomocí standardizovaného protokolu u laktátoměru Biosen C-line píchnutím do prstu na testované končetině. Odběr bude probíhat každou minutu během zátěžového protokolu. Jelikož se jedná o invazivní metodu sběru dat, bude přítomen lékař a všechny odběry bude prováděn standardním postupem pro odběr biologického materiálu. Rizika prováděného průzkumu nebudou vyšší než rizika běžně očekávaná u tohoto typu výzkumu.

Manipulaci s povrchovým EMG a laktátoměrem bude mít na starost proškolený odborník, tj. řešitel a spoluřešitelé. V laboratoři bude přítomen lékař pro případ komplikací.

Etické aspekty výzkumu: Výzkumu se nebudou účastnit vulnerabilní skupiny lidí. Všichni probandí budou plnoletí a výzkumu se budou účastnit dobrovolně na základě písemného souhlasu.

Potenciální střet zájmů: Autor výzkumné práce (tj. řešitel výzkumu) ani spoluřešitelé si nejsou vědomi žádného potencionálního střetu zájmů na výzkumu, který by mohl ovlivňovat objektivní průběh a výsledek výzkumu, ani nemají soukromý zájem na výsledku výzkumu a ani výzkum nevede k osobnímu prospěchu.

UNIVERZITA KARLOVA
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU
Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešelavín

Ochrana osobních dat: Data budou shromažďována a zpracovávána v souladu s pravidly vymezenými nařízením Evropské Unie č. 2016/679 a zákonem č. 110/2019 Sb. – o zpracování osobních údajů. Budou získávány následující osobní údaje: jméno, věk, pohlaví, případně e-mail, hmotnost, výška, body mass index a přítomnost vybraných onemocnění či prodělání traumat, jež by mohla zkreslit výsledky studie (odpověď ano – ne), data získaná výše uvedenými metodami. Tyto údaje budou bezpečně uchovány na heslem zajištěném počítači v uzamčeném prostoru, přístup k nim bude mít hlavní řešitel.

Uvědomuji si, že text je anonymizován, neobsahuje-li jakékoli informace, které jednotlivě či ve svém souhrnu mohou vést k identifikaci konkrétní osoby – budu dbát na to, aby jednotlivé osoby nebyly rozpoznatelné v textu práce. Osobní data, která by vedla k identifikaci účastníků výzkumu, budou bezprostředně do 1 dne po testování anonymizována.

Získaná data budou zpracovávána, bezpečně uchována a publikována v anonymní podobě v disertační práci, případně v odborných časopisech, úložištích dat, monografiích a prezentována na konferencích, případně budou využita při další výzkumné práci na UK FTVS.

Požírování fotografií/vidéo/audio nahrávek účastníků: Při výzkumu nebudou pořizovány žádné fotografie, videa ani audio nahrávky.

V maximální možné míře zajistím, aby získaná data nebyla zneužita.

Text informovaného souhlasu (IS): přiložen

Povinností všech účastníků výzkumu na straně řešitele je chránit život, zdraví, důstojnost, integritu, právo na sebeurčení, soukromí a osobní data zkoumaných subjektů, a podniknout k tomu veškerá preventivní opatření. Odpovědnost za ochranu zkoumaných subjektů leží vždy na účastnících výzkumu na straně řešitele, nikdy na zkoumaných, byť dali svůj souhlas k účasti na výzkumu. Všichni účastníci výzkumu na straně řešitele musí brát v potaz etické, právní a regulační normy a standardy výzkumu na lidských subjektech, které platí v České republice, stejně jako ty, jež platí mezinárodně.

Potvrzuji, že tento popis projektu odpovídá návrhu realizace projektu a že při jakékoli změně projektu, zejména použitých metod, zašlu Etické komisi UK FTVS revidovanou žádost.

V Praze dne: 26.10.2021

Podpis předkladatele:

Vyjádření Etické komise UK FTVS

Složení komise: Předsedkyně: doc. PhDr. Irena Parry Martínková, Ph.D.

Členové: prof. MUDr. Jan Heller, CSc.

prof. PhDr. Pavel Slepíčka, DrSc.

PhDr. Pavel Hráský, Ph.D.

Mgr. Eva Prokešová, Ph.D.

Mgr. Tomáš Ruda, Ph.D.

MUDr. Simona Majorová

Projekt práce byl schválen Etickou komisí UK FTVS pod jednacím číslem: 263/2021

dne: 26.10.2021

Etická komise UK FTVS zhodnotila předložený projekt a neshledala rozpor s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směrnici pro provádění výzkumu zahrnujícího lidské účastníky.

Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu Etické komise UK FTVS.

UNIVERZITA KARLOVA
Fakulta tělesné výchovy a sportu
Josef Martího 31, 162 52, Praha 6
– 20 –

podpis předsedkyně EK UK FTVS

Příloha 2. Informovaný souhlas (vzor)

UNIVERZITA KARLOVA
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU
José Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešelavín

INFORMOVANÝ SOUHLAS

Vážený pane, vážená paní,

v souladu se Všeobecnou deklarací lidských práv, zákonem č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů a dalšími obecně závaznými právními předpisy (jakož jsou zejména Helsinská deklarace, přijatá 18. Světovým zdravotnickým shromážděním v roce 1964 ve znění pozdějších změn (Fortaleza, Brazílie, 2013); Zákon o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování (zejména ustanovení § 28 odst. 1 zákona č. 372/2011 Sb.) a Úmluva o lidských právech a biomedicině č. 96/2001, jsou-li aplikovatelné), Vás žádám o souhlas s Vaší účastí ve výzkumném projektu na UK FTVS v rámci výzkumné práce s názvem Pohlavní rozdíly vybraných indikátorů nástupu svalové únavy během izometrické kontrakce m. biceps brachii u zdravých jedinců prováděné v kineziologické laboratoři na katedře fyzioterapie Fakulty tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy.

Projekt bude probíhat v období: listopad 2022–listopad 2024.

Cílem výzkumného projektu je sledovat vliv mentální zátěže na pohlavní rozdíly ve svalové únavnosti (tedy zda se sval jednoho pohlaví unaví dříve či později než svaly pohlaví opačného, a to současně s mentální zátěží – matematickou úlohou).

Způsob měření bude neinvazivní. Řešitel výzkumu Vám v oblasti dominantní paže (z přední strany mezi ramenem a loktem, tedy tam, kde se nachází dvouhlavý sval pažní – biceps brachii) dočasně přilepí povrchové elektrody, které budou snímat aktivitu Vašeho svalu. Následně budete vyzván k maximálnímu možnému odporu (tímto změříme, jakou maximální elektrickou aktivitu sval dokáže vyvinout). Poté budete vyzván k udržení 40 % maxima (aktuální procentuální hodnotu uvidíte na obrazovce před sebou) co nejdéle to půjde. Během jednoho sezení se k výše popsanému postupu přidá mentální zátěž, tj. specifické „počítání nahlas“.

Časová náročnost projektu: Budete se účastnit výzkumu celkem dvakrát – na prvním sezení se zeptám, zda jste někdy prodělali zlomeninu či úraz vyšetřované paže či zda trpíte či jste v minulosti trpěl poruchami nervosvalového přenosu nebo mentálními poruchami. Žen se zeptám na to, kdy začala poslední menstruace (z důvodu odlišných hormonálních hladin během cyklu). Následně proběhne samotné měření, a to jednou se současnou mentální zátěží (budete vyzván/a k specifickému „počítání nahlas“) a jednou bez mentální zátěže (první sezení).

Budou zajištěny adekvátní podmínky prostředí k provedení měření. Vaše účast v projektu je dobrovolná a nebude finančně ohodnocena.

Ochrana osobních dat: Data budou shromažďována a zpracovávána v souladu s pravidly vymezenými nařízením Evropské Unie č. 2016/679 a zákonem č. 110/2019 Sb. – o zpracování osobních údajů. Budou získávány následující osobní údaje: věk, pohlaví, hmotnost, výška, body mass index a přítomnost vybraných onemocnění či prodělání traumat, jež by mohli zkreslit výsledky studie (odpověď ano – ne). Tyto údaje budou bezpečně uchovány na heslem zajištěném počítači v uzamčeném prostoru, přístup k nim bude mít hlavní řešitel.

Uvědomuji si, že text je anonymizován, neobsahuje-li jakékoli informace, které jednotlivě či ve svém souhrnu mohou vést k identifikaci konkrétní osoby – budu dbát na to, aby jednotlivé osoby nebyly rozpoznatelné v textu práce. Osobní data, která by vedla k identifikaci účastníků výzkumu, budou bezprostředně do 1 dne po testování anonymizována.

Získaná data budou zpracovávána, bezpečně uchována a publikována v anonymní podobě v disertační práci, případně v odborných časopisech, monografiích a prezentována na konferencích, případně budou využita při další výzkumné práci na UK FTVS.

Pořizování fotografií/videí/audio nahrávek účastníků: Při výzkumu nebudou pořizovány žádné fotografie, videa ani audio nahrávky.

UNIVERZITA KARLOVA
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU
Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešelavín

V maximální možné míře zajistím, aby získaná data nebyla zneužita.

Jméno a příjmení předkladatele a hlavního řešitele projektu: Mgr. Patrik Vymyslický
Jméno a příjmení osoby, která provedla poučení: Mgr. Patrik Vymyslický Podpis:.....

Prohlašuji a svým níže uvedeným vlastnoručním podpisem potvrzuji, že dobrovolně souhlasím s účastí ve výše uvedeném projektu a že jsem měl(a) možnost si řádně a v dostatečném čase zvážit všechny relevantní informace o výzkumu, zeptat se na vše podstatné týkající se účasti ve výzkumu a že jsem dostal(a) jasné a srozumitelné odpovědi na své dotazy. Byl(a) jsem poučen(a) o právu odmítnout účast ve výzkumném projektu nebo svůj souhlas kdykoli odvolat bez represí, a to písemně Etické komisi UK FTVS, která bude následně informovat předkladatele projektu. Dále potvrzuji, že mi byl předán jeden originál vyhotovení tohoto informovaného souhlasu.

Místo, datum

Jméno a příjmení účastníka Podpis: