Pedagogická fakulta
Faculty of Education
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
University of South Bohemia in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
PEDAGOGICKÁ FAKULTA
KATEDRA BIOLOGIE

Vliv obvyklé pokojové teploty na BMI, resp. prevalenci obezity vybraného vzorku populace

Bc. Renata Bednaříková

Vedoucí diplomové práce: **RNDr. Tomáš Ditrich, Ph.D.**

2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě Pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum: Podpis studenta:

Poděkování

Ráda bych poděkovala panu RNDr. Tomáši Ditrichovi, Ph.D. za odborné vedení mé práce, za jeho vstřícnost, cenné rady a čas, který mi věnoval.
Poděkování patří také mé rodině a blízkým, kteří mě podporovali během celého studia.

ABSTRAKT

BEDNAŘÍKOVÁ R., 2017: Vliv obvyklé pokojové teploty na BMI, resp. prevalenci obezity vybraného vzorku populace. Diplomová práce. Pedagogická fakulta Jihočeské univerzity. České Budějovice. 77 s.

Hlavním cílem diplomové práce je zjistit, zda BMI (Body Mass Index) u lidí souvisí s vnitřní pokojovou teplotou. Nižší pokojová teplota může totiž vést k aktivaci hnědé tukové tkáně (BAT – Brown Adipose Tissue) a tím zvýšit energetický výdej. Protože tepelný komfort je do jisté míry individuální, úkolem je zjistit, zda existuje závislost mezi BMI a frekvencí pociťovaného teplotního diskomfortu.

Výzkumu se zúčastnilo 202 respondentů ve věkovém rozmezí 3 – 27 let. Všichni byli změřeni a zváženi, teplotní návyky potom zaznamenali formou dotazníku. Podrobnějšímu sběru dat byla podrobena skupina VŠ studentů. K vyhodnocení dat byla použita PCA (Analýza hlavních komponent) a regresní analýza, pro stanovení vlivu pokojové teploty byly data jednotlivců vážena pomocí koeficientu tepelné izolace během noci.

Výsledky ukázaly, že s rostoucí noční průměrnou teplotou v ložnici roste i BMI, resp. percentilová BMI třída respondentů. Méně jasné jsou výsledky u věkových kategorií, kdy u nejmladší věkové kategorie závislost mezi BMI a pokojovou teplotou neexistuje, u dospívajících žen a dospělých mužů je průkazná, u dospívajících mužů a dospělých žen je závislost neprůkazná. Vyhodnocením 87 odpovědí na otázku týkající se frekvence subjektivního pocitu chladu adolescentů a dospělých jedinců se ukázalo, že čím častěji pociťovali ve svých obydlích chlad, tím nižší měli percentilovou třídu BMI i BMI v jednotlivých věkových skupinách.

Na základě těchto výsledků lze konstatovat, že pokojová teplota během spánku je další význačný faktor ovlivňující BMI a snížení teplot v domácnostech by mohlo vést ke snížení míry obezity populace.

Klíčová slova: hnědá tuková tkáň, BAT, BMI, pokojová teplota, tepelný komfort, obezita;
Vedoucí práce: RNDr. Tomáš Ditrich, Ph.D.

Tato práce byla podpořena projektem Grantové agentury Jihočeské univerzity GA JU č. 118/2016/S.

ABSTRACT

BEDNAŘÍKOVÁ R., 2017: An influence of usual room temperature on BMI or obesity prevalence in a population sample. Diploma thesis. Faculty of Education, University of South Bohemia in Ceske Budejovice. 77 pp.

The main aim of the diploma thesis is to determine if BMI (Body Mass Index) in humans is related to the indoor room temperature. Lower room temperature can lead to the activation of brown adipose tissue (BAT), thereby increasing energy expenditure. Because the thermal comfort is individual to some extent, the task is to determine whether there is a correlation between BMI and the frequency of perceived thermal discomfort.

The research was attended by 202 respondents in the age range of 3 to 27. All were measured and weighed, and then the temperature habits were recorded through questionnaire. A group of students underwent more detailed data collection. For the evaluation of the data was used PCA (Principal Component Analysis) and regression analysis, for determining the influence of the room temperature, data were weighed by the coefficient of the thermal insulation during the night.

The results showed that BMI, respectively the percentile BMI class of respondents increases with increasing average bedroom night temperature. Results are less clear for the age categories with no dependency between BMI and room temperature in the youngest age category, significant correlation in adolescent females and adult men, but not significant correlation in adolescent males and adult females.

Evaluation of 87 responses from adolescent and adult respondents to the question regarding the frequency of subjective cold feeling showed that the more they felt the coldness in their dwellings, the lower was percentile BMI class and BMI in different age groups. Based on these results we can state that the room temperature during sleep is another significant factor influencing BMI and lowering the temperature in the homes could lead to the reduction of population obesity.

Keywords: brown adipose tissue, BAT, BMI, bedroom temperature, thermal comfort, obesity; **Supervisor:** RNDr. Tomáš Ditrich, Ph.D.

This thesis was supported by the Grant Agency of the University of South Bohemia (GA JU) nr. 118/2016/S.

OBSAH

ÚVOD **1**
1 TERMOREGULACE **2**
1.1 Řízení tělesné teploty - hypotalamus 2
1.2 Termogeneze 3
1.2.1 Třesová termogeneze 4
1.2.2 Netřesová termogeneze 4
2 TUKOVÁ TKÁŇ **5**
2.1 Typy tukové tkáně 6
3 HNĚDÁ TUKOVÁ TKÁŇ **8**
3.1 Umístění BAT 8
3.2 Funkce BAT 8
3.2.1 Chladová expozice 9
3.3 Metabolismus BAT 9
3.4 Detekce BAT 10
3.5 Metody aktivace BAT 11
3.5.1 Vliv klimatu na BAT 22
4 METODIKA **26**
4.1 Výzkumný soubor 26
4.2 Sběr dat 26
4.3 Doplňkové individuální charakteristiky 27
4.4 Důvěryhodnost reportovaných teplot 28
4.5 Statistické hodnocení dat 28
4.6 Seznam použitých zkratek 32
5 VÝSLEDKY **34**
5.1 Charakteristika VŠ studentů 34
5.2 Charakteristika kompletního základního souboru 40
6 DISKUZE **58**
6.1 Relevance získaných dat 58
6.2 Vztah mezi BMI (BMI třídou) a průměrnou noční teplotou v ložnici 58
6.3 Vztah mezi BMI a frekvencí pocitu chladu 60
6.4 Vztah mezi BMI třídou a frekvencí pocitu chladu 61
6.5 Význam získaných výsledků 61
6.6 Vztah mezi WHR a průměrnou noční teplotou v ložnici 63
6.7 Využití zjištěných výsledků 63
7 ZÁVĚR **65**
SEZNAM OBRÁZKŮ **67**
SEZNAM TABULEK **69**

SEZNAM PŘÍLOH 70
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 71

ÚVOD

Tuková tkáň, zejména vzhledem ke svému množství, přestavuje důležitý, ale často opomíjený orgán. Obecně jsou rozlišovány dva typy tuková tkáně: bílá tuková tkáň (White Adipose Tissue, WAT[1]), která se vyskytuje u lidí běžně a slouží k ukládání energie ve formě zásobních tuků a hnědá tuková tkáň (Brown Adipose Tissue, BAT), jejíž hlavní funkcí je produkce tepla (termogeneze). O hnědé tukové tkáni je všeobecně známo, že se vyskytuje především u novorozenců a její množství po prvním roce života značně klesá. Nedávné studie však prokázaly významnou přítomnost hnědého tuku běžně i u dospělých.

Tyto recentní důkazy o přítomnosti a funkčnosti hnědé tukové u dospělých jedinců přinesly zvýšený zájem o netřesovou termogenezi a roli BAT při metabolismu. Protože BAT je obecně aktivována chladovou expozicí, nabízí se otázka na vztah mezi množstvím tuku, resp. BMI třídou a obvyklou pokojovou teplotou.

Hlavním cílem diplomové práce je zjistit, zda BMI u lidí souvisí s vnitřní pokojovou teplotou, přesněji řečeno ověřit hypotézu, že lidé s nižší pokojovou teplotou mají nižší hodnotu BMI. Protože tepelný komfort je do jisté míry individuální, dalším cílem práce je zjistit vztah mezi BMI a frekvencí pociťovaného teplotního diskomfortu. Množství BAT závisí na pohlaví a obecně klesá s rostoucím věkem, dalším úkolem je zjistit, jestli se souvislost mezi BMI a pokojovou teplotou mění u různých věkových skupin.

[1] Pro přehlednost jsou všechny použité zkratky uvedeny a vysvětleny v kap. 4, podkap. 4.6.

1 TERMOREGULACE

Udržování relativně stálé tělesné teploty, tj. termoregulace, je důležitou vlastností organismu teplokrevných (endotermních) živočichů včetně člověka (Rokyta a kol., 2000). Optimální tělesná teplota je klíčová pro zachování řady metabolických pochodů a průběh enzymatických reakcí. Aktuální hodnota tělesné teploty je dána (příjmem), produkcí a výdejem tepla – rovnováha mezi těmito ději je zajištěna termoregulací (Kittnar & Mlček, 2009).

1.1 Řízení tělesné teploty - hypotalamus

Hlavním centrem termoregulace je hypotalamus, tvořící dolní část mezimozku, který je považován za nejdůležitější orgán pro řízení stálosti vnitřního prostředí organismu, tedy homeostázy (Silbernagl & Despopoulos, 1993; Mourek, 2005).

Z periferních receptorů pro teplo a chlad, uložených na kůži i sliznicích, přicházejí informace o teplotě zevního prostředí. Informace o vnitřní teplotě zajišťují centrální receptory (termosenzory) nacházející se podél velkých cév, v míše či v mozkovém kmeni, zejména však v hypotalamu. Vlastní termoregulační centrum se nachází v zadní části hypotalamu, kde se zpracovávají informace přicházející z periferního i centrálního termoreceptorového pole. Tímto způsobem se získává přesná informace o tepelné situaci organismu. Zadní hypotalamus tedy funguje jako termostat udržující teplotu přibližně 37 °C (Mourek, 2005). Jestliže dojde k vychýlení této hodnoty, na řadu přicházejí termoregulační mechanismy, jejichž úkolem je tělo chránit při hrozbě přehřátím, anebo při ohrožení podchlazením. Obecně se na termoregulaci (mimo termogenezi, viz dále) uplatňují čtyři základní fyzikální mechanismy ztráty tepla: vypařování, vyzařování, vedení a proudění. Z fyziologického hlediska mají největší význam vypařování a vyzařování. Vypařováním kapalin z povrchu těla se z těla odvádí teplo v závislosti na množství odpařované kapaliny a měrného výparného tepla dané kapaliny; vyzařování je způsob výdeje tepla v prostředí s nižší teplotou, než je teplota těla. V případě potřeby snížit tělesnou teplotu tak dochází k:

- pocení (zvýšení vypařování),
- vasodilataci (zvýšení množství vydávaného tepla vyzařováním zvýšením průtoku teplé krve k povrchu těla); účinné jen v prostředí o nižší teplotě než je teplota těla),
- specifickému termoregulačnímu chování (snížení produkce tepla – omezení pohybové aktivity, pokles příjmu potravy; vyhledávání chladného prostředí apod.).

V případě potřeby zvýšit tělesnou teplotu dochází k:

- vasokonstrikci (snížení množství vydávaného tepla vyzařováním omezením průtoku teplé krve k povrchu těla),
- zvýšení produkce tepla (termogeneze) – třesová termogeneze, netřesová termogeneze (viz dále),
- specifickému termoregulačnímu chování (zvýšení pohybové aktivity; zvýšení příjmu potravy; zmenšení relativního povrchu těla (schoulení se); vyhledávání teplých či závětrných míst apod.) (Mourek, 2005; Kittnar a kol., 2011).

1.2 Termogeneze

Zcela nezbytným procesem a produktem metabolických dějů v lidském organismu je tvorba tepla, tedy termogeneze. Ve skutečnosti se jedná o část energie, kterou získáváme z potravy (energetické substráty) a která je poté v organismu (buňkách) použita na tvorbu biologicky využitelné energie ve vazbách obsahujících velké množství chemické energie (ATP) a na teplo. Narůstající metabolická aktivita (např. v játrech nebo svalovou činností) má za následek nejen zvýšení spotřeby substrátů, ale i produkci tepla (Mourek, 2005).

Svalový třes (třesová termogeneze) je u dospělých jedinců značně důležitým mechanismem, který zvyšuje produkci tepla, a tím chrání organismus před podchlazením (hypotermií). Kromě toho existuje ještě další možnost jak vyprodukovat teplo, a to vlivem adrenalinu, noradrenalinu a tyroxinu. Adrenalin a noradrenalin buněčný metabolismus zvyšují okamžitě a rychle, zatímco tyroxin (hormon štítné žlázy) je charakteristický pro svůj pomalý nástup a dlouhodobý efekt (Mourek, 2015; Trojan a kol., 1994).

Mezi další mechanismy, které ovlivňují tělesnou teplotu, se řadí faktory jako vrstva tělesného podkožního tuku či termoregulační chování (člověk se obléká, zahřívá se u ohně apod.).

Novorozenci jsou zranitelnější vůči působení chladu z důvodu nezralých termoregulačních mechanismů a většímu povrchu těla k objemu, resp. tělesné hmotnosti. Proto se u novorozenců a dětí, mezi půl až jedním rokem života, termogeneze založená na svalové aktivitě neuplatňuje a jedinou možností je netřesová termogeneze – produkce tepla v hnědé tukové tkáni (Kittnar a kol., 2011; Mourek, 2005; Silbernagl & Despopoulos, 1993).

1.2.1 Třesová termogeneze

Při značném poklesu teploty jsou informace o této změně odeslány do termoregulačního centra zadní části hypotalamu a následnou stimulací extrapyramidového systému se zvýší svalový tonus (napětí), který poté přechází v mimovolní svalovou aktivitu, tzv. svalový třes. Tvorba tepla se tímto dějem oproti klidovému stádiu zvýší 4-5 krát (Jandová, 2009; Pastucha, 2014; Trojan a kol., 1994).

1.2.2 Netřesová termogeneze

Netřesová termogeneze je nejdokonalejším mechanismem chladová adaptace. Tvorba tepla je vyvolána působením katecholaminů (především noradrenalinu) uvolněných podrážděním nervových zakončení v kůži při snížení teploty. Tento děj probíhá zejména v hnědé tukové tkáni, která je bezpodmínečně přítomna u novorozenců. Donedávna se předpokládalo, že u dospělého člověka je hnědá tuková tkáň zcela rudimentární, a tak není netřesová termogeneze možná (Zeman, 2006; Sikorová, 2011). Tyto předpoklady však vyvrací několik vědeckých prací, které dokládají významnou aktivitu hnědé tukové tkáně i u dospělých (viz podkap. 3.5).

2 TUKOVÁ TKÁŇ

Tuková tkáň plní v našem těle mnoho důležitých funkcí. Hlavní úkol této tkáně spočívá v ukládání přebytečné metabolické energie ve formě tuku, který může být využit v období energetické deprivace (hladovění, nemoc).

Základní stavební jednotkou tukové tkáně jsou adipocyty, buňky specializované na uchování tuku, které mají mimo jiné také funkci endokrinní a do krevního oběhu uvolňují celou řadu adipocytokinů (tkáňových hormonů, viz tab. 1). Některé z těchto hormonů působí lokálně, tedy přímo v tukové tkáni (na adipocyty a další buňky této tkáně – fibroblasty, makrofágy), většina je však secernována do krevního řečiště a ovlivňují vzdálené orgány jako svaly, mozek, játra a endotel. Svými účinky regulují intermediární metabolismus, imunitní odpovědi, ovlivňují inzulinovou citlivost apod. (Obregon, 2014; Polák a kol., 2006).

Tab. 1. Přehled nejdůležitějších hormonů tukové tkáně produkovaných adipocyty (podle Svačina a kol, 2010).

Název hormonu	Význam v organismu
leptin	regulace energetické homeostázy
adiponektin	antiaterogenní účinky, zvýšení inzulinové senzitivity
rezistin	snížení inzulinové senzitivity, účast v regulaci zánětu
ASP (acylation stimulating protein)	regulace energetické homeostázy, imunitní děje
visfatin	inzulin-mimetický efekt
PAI-1 (plasminogen activator inhibitor 1)	protrombogenní účinky
agouti protein	regulace energetické homeostázy
angiotenzinogen	regulace krevního tlaku
IGF-1 (insulin-like growth factor 1)	regulace růstu a metabolických dějů
IGFBPs (IGF-binding proteins)	regulace hladin IGF, metabolické účinky
TNF- α (tumor necrosis factor α)	regulace zánětů, snížení inzulinové senzitivity
interleukin 6	regulace zánětů, modulace inzulinové senzitivity
TGF-β (tumor growth factor β)	růstový faktor
FGF (fibroblast growth factor)	růstový faktor
EGF (epidermal growth factor)	růstový faktor

2.1 Typy tukové tkáně

Tuková tkáň se vyskytuje ve dvou formách: bílá tuková tkáň (WAT) a hnědá tuková tkáň (BAT) (Lüllmann-rauch, 2012).

Bílá tuková tkáň

Bílá tuková tkáň má bílou až žlutou barvu a je tvořena adipocyty s jednou tukovou kapénkou (obsahující zásobní triglyceridy), obklopenou tenkou vrstvou cytoplazmy. Jádro a malé množství mitochondrií jsou vytlačovány na periferii buňky. Adipocyty WAT patří mezi největší buňky lidského těla, s průměrnou velikostí 50 μm[2].

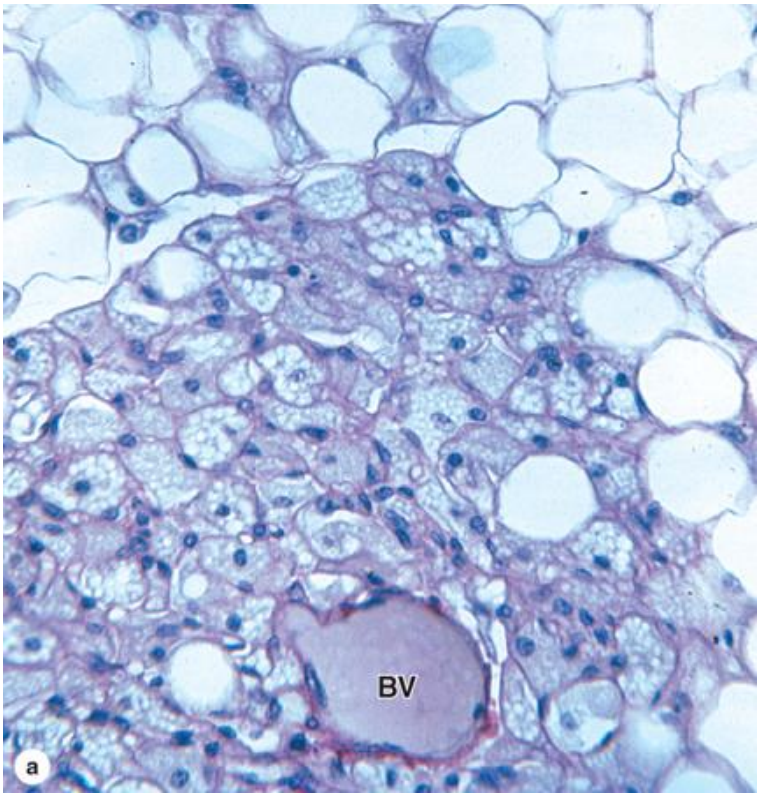
Bílá tuková tkáň se vyskytuje na mnoha místech po celém těle. U člověka se zakládá již před narozením a největší úložiště nalezneme v podkoží a v oblasti břicha. U štíhlých jedinců zaujímá tato tkáň asi 20 % celkové tělesné hmotnosti, u obézních lidí může tuková hmota tvořit až 50 % celkové váhy (Obregon, 2014; Svačina a kol., 2010).

Hnědá tuková tkáň

Pro BAT jsou charakteristické adipocyty s velkým počtem kapének a četnými mitochondriemi. Za hnědé zbarvení tkáně zodpovídá cytochrom, vyskytující se v hojném množství právě v mitochondriích. Co se velikosti týče, adipocity hnědého tuku nejsou tak velké jako buňky bílé tukové tkáně (viz obr. 1).

Hnědá tuková tkáň, vyskytující se především u novorozenců, u kterých je nezbytná pro termogenezi, přetrvává v malém množství i u dospělých (Lüllmann-rauch, 2012; Seale, 2013).

[2] μm = mikrometr



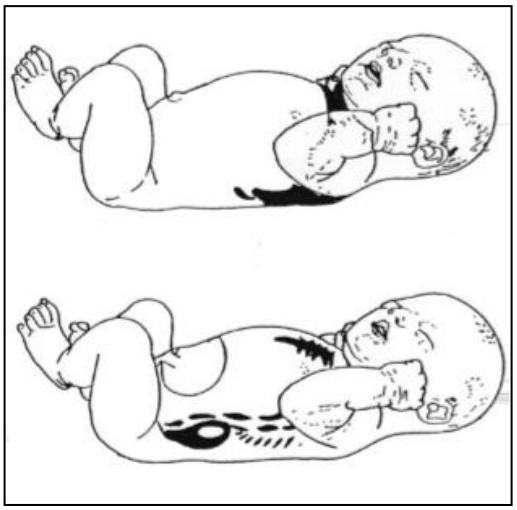
Obr. 1. Hnědá a bílá tuková tkáň.

Mikrofotografie znázorňuje hnědé tukové buňky kolem malé cévy (BV) a přilehlé bílé tukové tkáně. Hnědé tukové buňky jsou znatelně menší a charakteristicky obsahují mnoho tukových kapének a centrální kulovitá jádra s četnými mitochondriemi (Mescher, 2015).

3 HNĚDÁ TUKOVÁ TKÁŇ

3.1 Umístění BAT

Hnědá tuková tkáň představuje jen malé procento z celkového tělesného tuku. Hnědý tuk je charakteristický zejména u hibernujících savců. U člověka se vyskytuje v rozsáhlejším množství pouze u novorozenců a napomáhá k udržení normální tělesné teploty. Hnědý tuk je uložen v oblasti mezi lopatkami, v zátylku, podél velkých cév v břiše a hrudníku a v dalších místech roztroušených po těle. Tkáň v období po narození postupně zaniká, avšak zcela nevymizí (Ganong, 2005; Strunecká & Janský, 2006).



Obr. 2. Lokalizace hnědého tuku u novorozence (Strunecká & Janský, 2006).

3.2 Funkce BAT

Hnědá tuková tkáň je aktivována v reakci na chladovou expozici a její hlavní funkcí je produkce tepla (netřesová termogeneze). To je možné díky přítomnosti bílkoviny UCP1 (uncoupling protein 1, tzv. rozpojovací protein 1), který se nachází na vnitřní membráně mitochondrií. UCP1 funguje jako protonový kanál umožňující průchod protonů z extracelulárního prostoru do matrix mitochondrie. Protony neprochází přes ATP-syntázu (není syntetizován ATP), ale energie z přenosu je uvolněná ve formě tepla, které je rozvedeno po celém těle díky bohatému cévnímu zásobení hnědé tukové tkáně.

Pokud jsou adipocyty hnědé tukové tkáně aktivovány, mají schopnost přijímat a oxidovat velké množství tuků a sacharidů za účelem produkce tepla. Tato proměna chemické energie na teplo na úkor produkce ATP je zprostředkována již zmíněným UCP1 ve vnitřní mitochondriální membráně. UCP1 katalyzuje únik protonů z mezimembránového prostoru do mitochondriální matrix, čímž se snižuje protonový gradient (a potenciální energie) důležitý pro produkci ATP a umožní, aby se energie rozptýlila ve formě tepla (Seale, 2013).

3.2.1 Chladová expozice

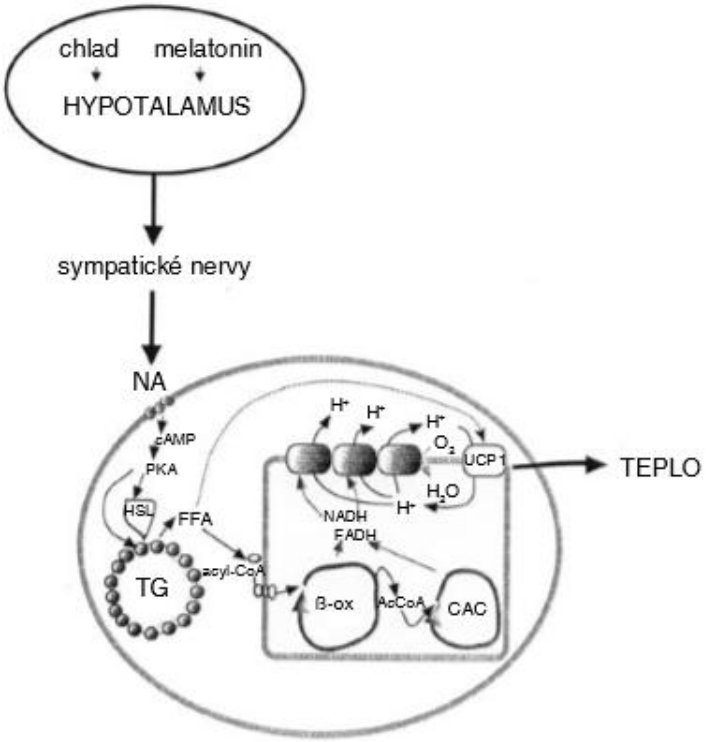
Při chladové expozici je člověk vystaven teplotám klesajícím pod hranici jeho teplotního komfortu[3]. Tato odchylka od ideální tělesné teploty v těle spouští reakce zajišťující udržení vnitřní teploty.

Svalovým třesem se produkce tepla může navýšit až na pětinásobek oproti klidovému metabolismu. Třesová termogeneze je proto důležitá jako krátkodobá ochrana proti hypotermii. Zatímco během chronického vystavení chladu se do popředí dostává hnědá tuková tkáň, jejíž hlavní funkcí je tvorba tepla (Cannon & Nedergaard, 2004; Lans a kol., 2013; van Marken Lichtenbelt a kol., 2009; Virtanen a kol., 2009; Yoneshiro a kol., 2011).

3.3 Metabolismus BAT

Chladové receptory v kůži zaregistrují chladnou okolní teplotu a předají signál termoregulačnímu centru v hypotalamu, který má za úkol regulovat tělesnou teplotu. Podnět pro aktivaci BAT je veden z termoregulačního centra sympatickými vlákny. Noradrenalin (NA) uvolněný ze zakončení sympatických nervů aktivuje pomocí cAMP (cyklický adenosinmonofosfát) proteinkinázu A (PKA). Dojde k aktivaci hormon-senzitivní lipázy (HSL), která indikuje uvolnění volných mastných kyselin (FFA). Protony, které vzniknou během procesu β oxidace (β-ox), cyklu kyseliny citronové (CAC) a v řetězci oxidačních enzymů, se pumpují směrem ven z mitochondrií. Vznikem protonmotivní síly jsou protony hnány zpět do matrix mitochondrií přes UCP1. Energie protonmotivní síly se uvolňuje ve formě tepla (viz obr. 2) (Strunecká & Janský, 2006).

[3] Teplota, kdy člověk nepociťuje ani horko, ani chlad.



Obr. 3. Schéma metabolických procesů v hnědé tukové tkáni při noradrenalinové termogenezi (Strunecká & Janský, 2006).

3.4 **Detekce BAT**

K rozpoznání hnědé tukové tkáně se u dospělých jedinců již několik let využívá pozitronová emisní tomografie (PET) v kombinaci s rentgenovou výpočetní tomografií (CT). Tato diagnostická zobrazovací technika měří absorpci spotřebované ^{18}F – fluordeoxyglukózy (FDG)[4] – neškodná radioaktivní forma glukózy – a tím poskytuje informace o metabolické aktivitě hnědé tukové tkáně. Mezi další, méně často používané, technologie se řadí magnetická rezonance (MRI, nevyužívá ionizující záření na rozdíl od PET a CT) a výpočetní tomografie s duální energií záření (DECT). K identifikaci hnědého tuku lze rovněž využít histologickou a biochemickou analýzu UCP 1 z biopsie tukové tkáně (Borga a kol. 2014; Farmer, 2009).

[4] ^{18}F-FDG = viz https://en.wikipedia.org/wiki/Fludeoxyglucose_(18F)

3.5 Metody aktivace BAT

Možnost aktivace hnědé tukové tkáně prostřednictvím chladové expozice u dospělých lidí byla prokázána několika nezávislými studiemi.

Recentní důkazy o aktivaci BAT u dospělé populace

Na přítomnost značného množství metabolicky aktivní hnědé tukové tkáně u zdravých dospělých lidí ve své studii poukázal Virtanen a kol. (2009). Do výzkumu se zapojilo pět dobrovolníků ve věkovém rozmezí 20 – 50 let. Každý z nich podstoupil dvě nezávislá ^{18}F-FDG PET/CT vyšetření, z nichž jedno bylo provedeno během chladové expozice a druhé za teplých podmínek. Dobrovolníci strávili dvě hodiny v pokoji s okolní teplotou 17 – 19 °C a následně podstoupili skenování. V průběhu PET-CT přerušovaně vkládali jedno chodidlo do studené vody (5 – 9 °C; 5 min ve vodě, 5 min ven z vody). Tomografické vyšetření během teplých podmínek proběhlo obdobně, vyjma chladové expozice a ledové lázně. V obou případech noc před vyšetřením dobrovolníci nesměli nic jíst. Od tří z pěti subjektů obdrželi písemný souhlas o provedení biopsie tukové tkáně.

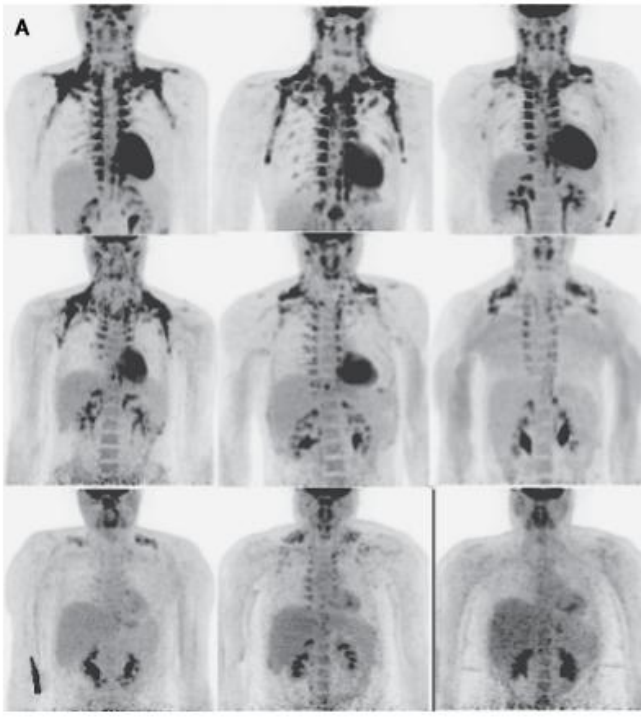
Provedené studie poukázaly na skutečnost, že BAT je přítomna u zdravých dospělých jedinců a vykazuje značného množství UCP1 a více cytochromu *c* oproti WAT. Na základě těchto zjištění a předchozích nálezů týkajících se metabolismu hnědého tuku Virtanen a kol. předpokládali, že aktivace hnědého tuku chladovou expozicí by u lidí mohla významně přispět k energetickému výdeji.

Stejnou problematikou se zabýval i van Marken Lichtenbelt a kol. (2009). Studie se zúčastnilo 24 mužů, z toho 10 mužů štíhlých (BMI[5] < 25) a 14 s nadváhou či obézních (BMI ≥ 25). V průběhu experimentu bylo subjektům přiděleno standardní oblečení (0,49 *clo*[6]) a měření probíhalo v klimatické komoře v poloze vleže na zádech. Po dobu jedné hodiny byli dobrovolníci vystaveni termoneutrálním podmínkám (22 °C) a následně

[5] BMI = tělesná váha (kg)/tělesná výška^2 (m); index tělesné hmotnosti je číslo používané jako indikátor podváhy, normální tělesné hmotnosti, nadváhy a obezity, umožňující statistické porovnávání tělesné hmotnosti lidí s různou výškou.
[6] *clo* (clothing insulation) = měrná jednotka pro izolační vlastnosti oděvu

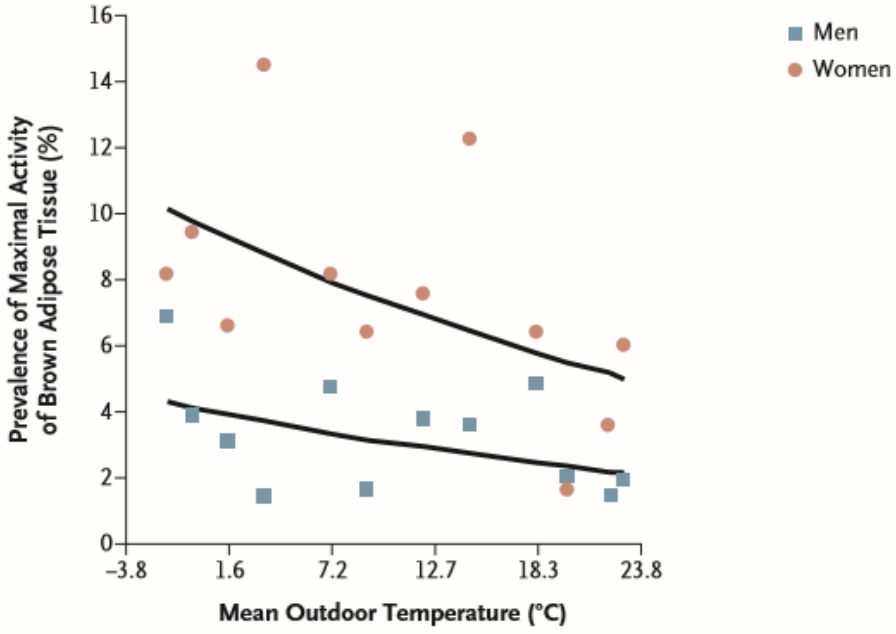
mírné chladové expozici (16 °C) v délce dvou hodin. Přibližně 60 minut před začátkem snímkování jim byla do žíly aplikována ^{18}F-FDG. Ke stanovení aktivity hnědého tuku použili PET-CT.

Aktivní BAT byla během chladové expozice zaznamenána u 23 z 24 subjektů (96 %), zatímco za termoneutrálních podmínek byla tkáň neaktivní. Aktivita hnědé tukové tkáně byla u mužů s nadváhou/obezitou výrazně nižší v porovnání se štíhlými jedinci (viz obr. 4) a zároveň u těchto jedinců bylo zjištěno menší množství tkáně, což poukazuje na potenciální roli hnědé tukové tkáně v regulaci množství tuku.



Obr. 4. Aktivita hnědé tukové tkáně stanovena PET-CT (^{18}F-FDG).
Výsledky PET/CT snímkování 9/24 subjektů vykazují různé fyziologické vychytávání a distribuci ^{18}F-FDG v tukové tkáni. Vrchní řada snímků patří štíhlým subjektům s nejvyšší úrovní tkáňové aktivity, prostřední řada znázorňuje štíhlé jedince se střední aktivitou hnědé tukové tkáně a poslední trojice snímků patří jedincům s nadváhou či obezitou (van Marken Lichtenbelt a kol., 2009).

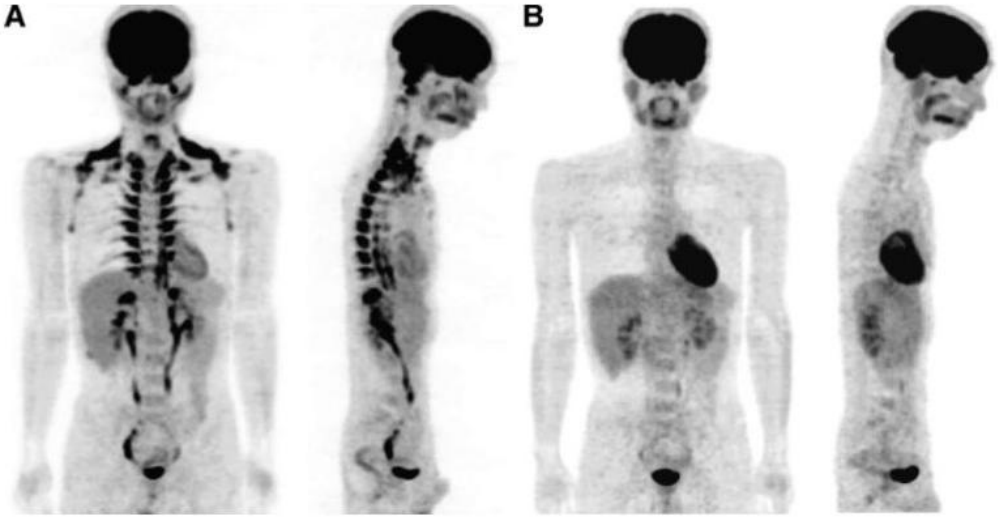
Cílem výzkumu pod vedením Cypesse a kol. (2009) bylo zjistit, zda existuje vztah mezi detekcí BAT a venkovní teplotou. U dlouhodobě pozorovaného pacienta bylo zjištěno, že se vychytávání ^{18}F-FDG hnědou tukovou tkání může rychle snížit v reakci na zvýšenou venkovní teplotu. Přezkoumáním dat z PET-CT vyšetření u pacientů s detekovatelnou BAT ve srovnání s daty všech zkoumaných subjektů byl zjištěn dlouhodobý vliv venkovní teploty na hnědý tuk. U těchto pacientů se určil termín, kdy byla aktivita BAT nejvyšší a zároveň Americká meteorologická služba (U. S. Weather Service) poskytla průměrné venkovní teploty během daného období. Četnost výskytu maximální aktivity hnědého tuku byla nejvyšší v zimním období, nižší na jaře a nejnižší v létě. Souvislost mezi maximální aktivitou tkáně a průměrnou teplotou byla stanovena logistickou regresí s pohlavím a věkem jako proměnné (viz obr. 5). Navíc, pravděpodobnost detekce BAT za každé teploty byla podstatně vyšší u žen v porovnání s muži (Cypess a kol., 2009).



Obr. 5. Korelace mezi prevalencí maximální aktivity BAT (%) a venkovní teplotou (°C). U pacientů s detekovatelnou hnědou tukovou tkání byla stanovena doba maximální aktivity tkáně. Prevalence maximální aktivity BAT (%) se vynesla proti průměrné měsíční teplotě v Bostonu (°C) v mnohorozměrné logistické regresi. Prevalence maximální aktivity BAT se u obou pohlaví snižuje s rostoucí průměrnou venkovní teplotou. Ve všech případech byla pravděpodobnost detekce hnědého tuku u žen výrazně vyšší než u mužů (Cypess a kol., 2009).

Saito a kol. (2009) se věnoval výzkumu, který poukázal na významnou roli sezóny (a tedy chronické expozice) při aktivaci BAT. Do studie se v období srpen – březen zapojilo 56 subjektů (31 mužů, 25 žen) ve věku 23 – 65 let. Po 6 – 12ti hodinovém půstu, skupina dobrovolníků strávila dvě hodiny v místnosti s klimatizací nastavenou na 19 °C a každých pět minut po dobu čtyř minut pokládali svá chodidla na kostku ledu zabalenou v tkanině. V průběhu chladové expozice dobrovolníkům byla podána nitrožilní injekce ^{18}F-FDG a za hodinu podstoupili PET-CT vyšetření v místnosti při teplotě 24 °C.

Značné vychytávání FDG v supraklavikulární (nad klíční kostí) a paraspinální (v okolí páteře) oblasti bylo zaznamenáno u 17 z 32 mladších (23 – 35 let) a 2 z 24 starších jedinců (38 – 65 let) v zimním období (leden – březen). Za dva týdny, osm subjektů, u kterých se prokázalo chladem aktivované vychytávání FDG, podstoupilo testování v teplých podmínkách (27 °C) a u žádného z nich nebylo zaznamenáno vychytávání fluordeoxyglukózy. Histologická vyšetření prokázala ve zkoumaných oblastech přítomnost hnědých adipocytů. Chladem aktivované vychytávání FDG se zvyšovalo v zimě ve srovnání s letním obdobím a bylo nepřímo úměrné k BMI a k množství celkového a viscerálního tuku zkoumaných subjektů.



Obr. 6. FDG-PET snímky celého těla za studených a teplých podmínek.
A: Po 12ti hodinovém půstu strávil dobrovolník (muž, 25 let), v lehkém oblečení, dvě hodiny v klimatizované místnosti o teplotě 19 °C. Po tuto dobu střídavě pokládat chodilo na ledovou kostku (po dobu 4 minut každých 5 minut). Po 60ti minutách chladové expozice

byla subjektu podána injekce ^{18}F-FDG a další hodinu strávil ve stejných podmínkách. Následně postoupil PET-CT vyšetření při teplotě 24 °C.

B: Dva týdny po prvním testování (A) byl tentýž dobrovolník, ve standardním oblečení a bez pokládání chodidla na ledovou kostku, vystaven teplotě 27 °C po dobu dvou hodin. Poté následovalo vyšetření pomocí ^{18}F-FDG PET/CT (Saito a kol., 2009).

Yoneshiro a kol. (2011) provedl obdobnou studii jako Saito a kol. (2009), ve které zkoumal vztah mezi chladem aktivovanou hnědou tukovou tkání a nadváhou se zaměřením na účinky stárnutí. Na výzkumu se podílelo 162 subjektů ve věkovém rozmezí 20 – 73 let. Dobrovolníci podstoupili dvouhodinový pobyt v klimatizované místnosti (19 °C), během něhož přerušovaně pokládali chodidla na ledovou kostku zabalenou do tkaniny (po dobu 4 minut, každých 5 minut). Po 60 minutách chladové expozice jim byla injekčně podána dávka ^{18}F-FDG a hodinu na to se přesunuli do místnosti s 24 °C, kde se podrobili PET-CT vyšetření.

Chladem aktivovaný hnědý tuk byl zaznamenán u 67 (41 %) subjektů (BAT-pozitivní skupina). Ve srovnání s BAT-negativní skupinou byla BAT-pozitivní skupina mladšího věku a vykazovala nižší BMI, množství tělesného tuku a tuku v oblasti břicha. Výskyt chladem aktivované hnědé tukové tkáně se snižoval s věkem – více jak 50 % aktivní BAT bylo přítomno u jedinců ve věku 20 > let, zatímco méně než 10 % u dobrovolníků ve věku 50 – 60 > let. Parametry akumulace tuku vykazovaly určité rozdíly mezi mužským a ženským pohlavím, avšak zvyšovaly se s věkem u BAT-negativní skupiny, zatímco zůstaly nezměněné jak u mužů, tak u žen BAT-pozitivní skupiny ve věku od 20 – 40 let. Tyto výsledky naznačují, že snížená aktivita BAT může souviset s ukládáním tělesného tuku spolu s věkem.

Rok na to se uskutečnila další studie zabývající se potencionálními aktivátory hnědé tukové tkáně. Výzkumu se zúčastnilo 10 osob, jež podstoupily individuální vyšetření. Dobrovolníci byli vyzváni, aby se 48 hodin před výzkumem vyhnuli alkoholu a tabákovým výrobkům a od půlnoci nesměli přijmout žádnou potravu. Během pobytu na klinice byla pokojová teplota udržována na 23 °C. V závislosti na dnu výzkumu byl dobrovolníkovi podán jeden ze tří stimulů:

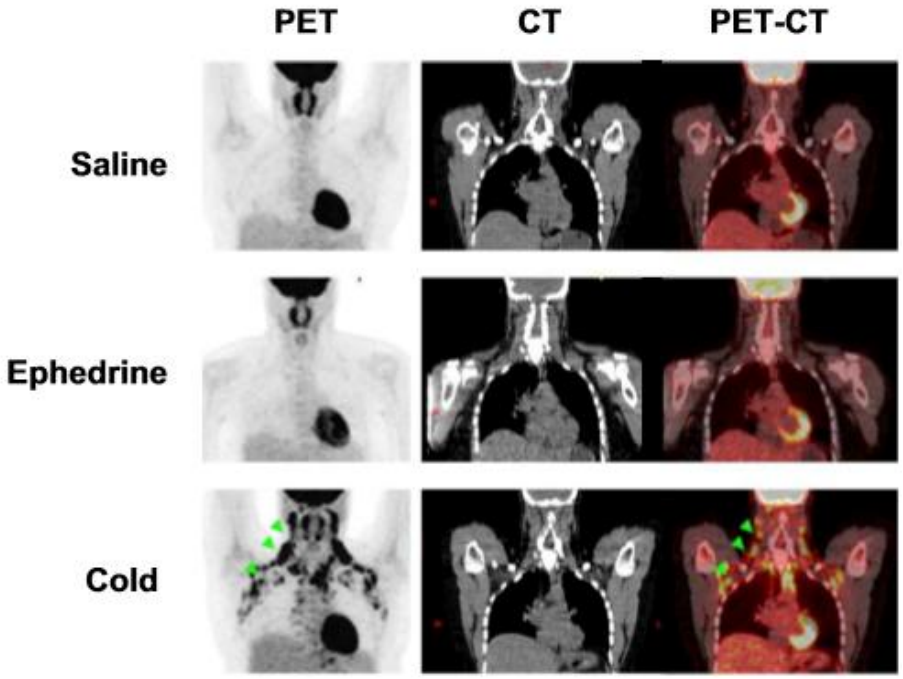
a) intramuskulární dávka efedrinu 1 mg/kg;

b) fyziologický roztok 1 mg/kg (0,9% vodný roztok NaCl) - kontrola;

c) snížení teploty místnosti (20 C°) + chladící vesta (14 °C, Polar Products).

Za hodinu po aplikaci efedrinu, fyziologického roztoku či po chladové expozici byla subjektům odebrána krev z důvodu stanovení hladiny metabolitů a poté podán intravenózní bolus ^{18}F-FDG. Za dalších 60 minut dobrovolník podstoupil PET-CT vyšetření.

Výzkum prokázal, že je možné trvale stimulovat BAT u dospělých jedinců pomocí snadno dostupné metody chladové expozice. Na rozdíl od efedrinu, který i při vysokých dávkách není schopen významně ovlivnit aktivitu hnědého tuku (viz obr. 7). Mírná chladová expozice stimuluje specifickou reakci NS pro aktivaci tkáně a zvyšuje energetický výdej spolu s dalšími metabolickými účinky (Cypess a kol., 2012).



Obr. 7. Detekce BAT po stimulaci chladovou expozicí, efedrinem a fyziologickým roztokem (kontrola).

U reprezentativního subjektu je znázorněno vychytávání FDG hnědou tukovou tkání. Po stimulaci fyziologickým roztokem (nahoře), efedrinem (uprostřed) a vystavením chladu (dole) byla využita koronální reprezentace PET (vlevo), CT (uprostřed) a kombinovaná PET-CT (vpravo) k zobrazení hlavních krčních, supraklavikulárních a hrudních dep BAT (Cypess a kol., 2012).

Dalšího výzkumu se zúčastnilo 17 dobrovolníků (9 žen a 8 mužů; 23 ± 3,2 roku), kteří byli vystaveni teplotě 15 – 16 °C, cca šest hodin denně po dobu 10 dnů. Během chladové aklimatizace měli nařízenou sedavou činnost (studovali, sledovali televizi), byli oblečeni do kraťasů a triček a každé dvě hodiny si mohli dopřát polévku či šálek teplého čaje.

Aby bylo možné stanovit NT, dobrovolníci byli vystaveni mírnému chladovému experimentu; pro tento účel byli zabaleni do vodou perfundovaného obleku. Teplota vody byla snížena o 4 °C každých 15 minut, dokud se neobjevil svalový třes. Následně byli účastníci výzkumu zahříváni po dobu 5 minut, dokud třes nezmizel, a nakonec se teplota obleku nastavila mírně nad teplotu, při které došlo k chvění. Po 30 minutách mírného chladu dobrovolníci podstoupili ^{18}F-FDG PET/CT. Tyto mírné chladové podmínky způsobily významné zvýšení energetického výdeje jak u mužů, tak i u žen.

Výzkum ukázal, že 10denní chladová aklimatizace zvyšuje aktivitu hnědé tukové tkáně spolu s netřesovou termogenezí. Co se týče aktivity BAT před a po chladové aklimatizaci, nebyly zaznamenány žádné rozdíly mezi mužským a ženským pohlavím. Výsledky také naznačují, že proměnlivé vnitřní prostředí s četnými chladovými expozicemi by mohl být přijatelný a ekonomický způsob jak zvýšit energetický výdej, a tak přispět k zmírnění aktuální epidemie obezity (van der Lans a kol., 2013).

Ještě několik dalších studií, konkrétně 18 výzkumů zahrnutých v tabulce 2, jednoznačně potvrdily aktivitu BAT u dospělých jedinců za použití ^{18}F-fluorodeoxyglukózy pozitronové emisní tomografie v kombinaci s počítačovou tomografií (^{18}F-FDG PET/CT). Aktivita hnědé tukové tkáně byla přítomna za různých teplotních podmínek – během chladové expozice při teplotě v rozmezí 15 – 19 °C nebo vlivem klimatu v zimních měsících. Shrnutí recentních studií zkoumající přítomnost a aktivitu BAT u dospělé populace viz tabulka 2.

Tab. 2. Přehled výzkumů zabývající se přítomností a aktivací BAT. Šedé zbarvení značí již zmíněné výzkumy.

Zdroj	Charakteristika výzkumného souboru	Metody aktivace BAT	Metody detekce BAT	Zjištění
Cypess a kol. (2009)	1 972 (1 013 mužů, 959 žen)	Venkovní teploty	^{18}F-FDG PET/CT Biopsie krku a supraklavikulární oblasti	u 76 z 1 013 (7,5 %) žen aktivní BAT, u 30 z 959 (3,1 %) mužů aktivní BAT Nepřímá korelace BAT s BMI, věkem a použitím beta-blokátoru[7] mezi staršími subjekty Vliv klimatu na aktivitu BAT (aktivita hnědého tuku nejvyšší v zimním období)
Saito a kol. (2009)	56 (31 mužů, 25 žen); 23 – 65 let	Chladová expozice 19 °C + pokládání chodidla na kostku ledu zabalenou v tkanině (po dobu 4 min, každých 5 min)/2h	^{18}F-FDG PET/CT	Po vystavení chladu byla aktivita BAT zaznamenána u 17 z 32 (23 – 35 let) a 2 z 24 (38 – 65 let) subjektů Inverzní korelace aktivní BAT vs. BMI, množství celkového a viscerálního tuku
van Manker Lichtenbelt a kol. (2009)	24 mužů; 10 subjektů BMI < 25 14 subjektů BMI ≥ 25	Termoneutrální podmínky 22 °C/1h, následovala chladová expozice 16 °C/2h	^{18}F-FDG PET/CT	Aktivita BAT zjištěna u 23 z 24 subjektů (96 %) po chladové expozici, BAT neaktivní při teplotě 22 °C Negativní korelace BAT s BMI a podílem tělesného tuku Pozitivní korelace s bazálním metabolismem
Virtanen a kol. (2009)	5 mužů; 20 – 50 let	Termoneutrální podmínky/2h Chladová expozice 17 – 19 °C + vodní lázeň chodidla (5 – 9 °C; 5 min ve vodě, 5 min venku z vody)/2h	2 nezávislá ^{18}F-FDG PET/CT vyšetření biopsie tukové tkáně	Histologický doklad funkční BAT BAT vykazuje velké množství UCP1 a cytochromu *c*

[7] Beta-blokátor = viz https://cs.wikipedia.org/wiki/Beta-blok%C3%A1tor

Lee a kol. (2010)	2 934 (1 848 mužů, 1 086 žen); 18 – 87 let	Po injekci ^{18}F-FDG pobyt v místnosti 21°C/1h	^{18}F-FDG PET/CT	Aktivní BAT identifikovaná u 250 subjektů (8,5 %) Detekce BAT nepřímo spojována s věkem, BMI a hladinou glukózy nalačno
Pfannenberg a kol. (2010)	260 (124 mužů, 136 žen); 11 – 82 let	Klimatizovaná místnost 22 °C/2h	^{18}F-FDG PET/CT	98 z 260 subjektů s aktivní BAT Aktivita a množství BAT je vyšší u žen Korelace aktivity BAT s věkem u mužů, ale ne u žen Inverzní korelace s BMI
Gilsanz a kol. (2011)	73 dětí a adolescentů (45 chlapců, 26 žen); 4 – 20 let	Termoneutrální podmínky 22 °C/2h	^{18}F-FDG PET/CT	33 ze 73 subjektů vykazovalo aktivní BAT (42 %) Prevalence aktivní BAT pozitivně korelovala se svalovým objemem Nebyl zjištěn žádný rozdíl ve věku, pohlaví nebo BMI
Ouellet a kol. (2011)	4 842 (2 472 mužů, 2 370 žen); 2 – 94 let	Po injekci ^{18}F-FDG pobyt v místnosti 24 °C/1h	^{18}F-FDG PET/CT	328 ze 4842 subjektů s aktivní BAT Prevalence BAT negativně korelovala s BMI, venkovní teplotou a věkem Vliv klimatu (detekce BAT vyšší v zimě)
Vijgen a kol. (2011)	15 těžce obézních subjektů (2 muži, 13 žen); BMI 35 – 48 kg/m^2	Chladová expozice + perfundovaná chlazená matrace (teplota stanovena individuálně, blízko teploty vyvolávající TT)/2h	^{18}F-FDG PET/CT	Chladem aktivovaná BAT zaznamenána u 3 z 15 těžce obézních subjektů
Yoneshiro a kol. (2011)	162 (103 mužů, 59 žen); 20 – 73 let	Chladová expozice 19 °C + pokládání chodidla na kostku ledu zabalenou v tkanině (po dobu 4 min, každých 5 min)/2h	^{18}F-FDG PET/CT	Chladem aktivovaná BAT detekován au 41% subjektů Inverzní korelace aktivní BAT s BMI, množstvím tělesného tuku, abdominálním (břišním) tukem a věkem

Cypess a kol. (2012)	10 (4 muži, 6 žen)	3 stimuly: efedrin 1 mg/kg, fyziologický roztok 1 mg/kg, snížení teploty místnosti 20 °C + chladící vesta 14 °C	^{18}F-FDG PET/CT	Možnost trvalé stimulace BAT prostřednictvím chladové expozice Pomocí efedrinu nedošlo ke stimulaci BAT, ale značně se zvýšil energetická výdej oproti vystavení chladu
Chen a kol. (2013)	24 (10 mužů, 14 žen); 18 – 60 let; BMI 20.0 – 27.0 kg/m^2	EE[8] a aktivita BAT: místnost 19 °C nebo 24 °C/12h; po 36 h vyšetřeni znovu	EE měřeno za použití NK [9] ^{18}F-FDG PET/CT	Ve srovnání s teplotou 24 °C, 19 °C teplota vedla ke zvýšení EE Vychytávání FDG přítomno u 7 z 24 subjektů/19 °C, u 0 subjektů/24 °C → malé snížení teploty, uvnitř klimatizovaných budov, je dostačující k zvýšení aktivity BAT, která koreluje s individuální CIT[10]
van der Lans a kol. (2013)	17 (8 mužů, 9 žen)	10denní chladová aklimatizace 15 – 16 °C/6h	^{18}F-FDG PET/CT Svalová a abdominální biopsie	Po chladové aklimatizace byla pozorována 100% prevalence BAT Na přítomnost a aktivitu BAT před a po aklimatizaci pohlaví nemá vliv Významné zvýšení energetického výdeje po mírné chladové expozici
Persichetti a kol. (2013)	6 454 (3161 mužů, 3 293 žen); 2 – 94 let; Itálie	Klimatizovaná místnost 22 °C, po injekci ^{18}F-FDG odpočinek při teplotě 24 °C/1h	^{18}F-FDG PET/CT	Zaznamenáno 217 z 6 454 (3,36 %) subjektů s aktivní BAT Aktivní BAT častěji u žen, mladších a štíhlejších jedinců s nižší koncentrací glukózy v plazmě Vliv sezóny (nevyšší vychytávání FDG v zimě)

[8] EE (energy expenditure) = energetický výdej

[9] NK = nepřímá kalorimetrie – měření spotřeby kyslíku, která je úměrná množství vydané energie za jednotku času

[10] CIT (cold-induced thermogenesis) = chladem indukovaná termogeneze (v tomto případě rozdíl mezi EE během termoneutrálních podmínek a po chladové expozici)

Garini a kol. (2015)	192 (105 žen, 87 mužů)	Klimatizovaná místnost 22 °C/ minimálně 30min	^{18}F-FDG PET/MRI[11]	Aktivní BAT přítomna u 5 žen ze 192 subjektů (2,6 %) Ženy, u kterých byla prokázána aktivita tkáně, byly výrazně mladší, s nižší hmotností a BMI oproti jedincům bez aktivní BAT
Shao a kol. (2015)	2 944 (1 766 mužů, 1 178 žen); 12 – 94 let; 1 858 zdravých a 1 086 jedinců s rakovinou; Čína	Tmavá místnost 22 – 25 °C/50min	^{18}F-FDG PET/CT	Vychytávání FGD v tukové tkáni přítomno u 57 z 2 944 subjektů (1,9 %) Věk, BMI a průměrná maximální teplota daného měsíce významně korelovali s vychytáváním FDG → vychytávání FDG je vyšší v mladším věku, během nižších teplot a BMI Pohlaví a rakovina nekorelovali s vychytáváním FDG
Yoneshiro a kol. (2016)	45 mužů; 20 – 31 let; Japonsko	Termoneutrální podmínky 27 °C/ >30min Chladová expozice 19 °C + pokládání chodidla na kostku ledu zabalenou v tkanině (po dobu 4 min, každých 5 min)/2h V zimě	Měření EE a svalového třesu Měření tělesné teploty a pocitu chladu ^{18}F-FDG PET/CT	Vychytávání FDG v tukové tkáně přítomno u 33 subjektů CIT výrazně vrostla v zimním období oproti letnímu a je vyšší u subjektů s aktivní BAT Významný interakční efekt mezi sezónou a BAT na chladem indukovanou termogenezi
Hibi a kol. (2016)	21 mužů; 20 – 50 let; BMI 18.0 – 24.9 kg/m^2; Japonsko	Chladová expozice 19 °C + pokládání chodidla na kostku ledu zabalenou v tkanině EE, DIT[12] a RQ[13]: místnost 27 °C/24h V zimě	^{18}F-FDG PET/CT EE, DIT a RQ změřeno za použití NK	BAT-pozitivní skupina (13 subjektů), BAT-negativní skupina (8 subjektů) DIT a využití tuků bylo vyšší u BAT-pozitivní skupiny ve srovnání s BAT-negativní skupinou

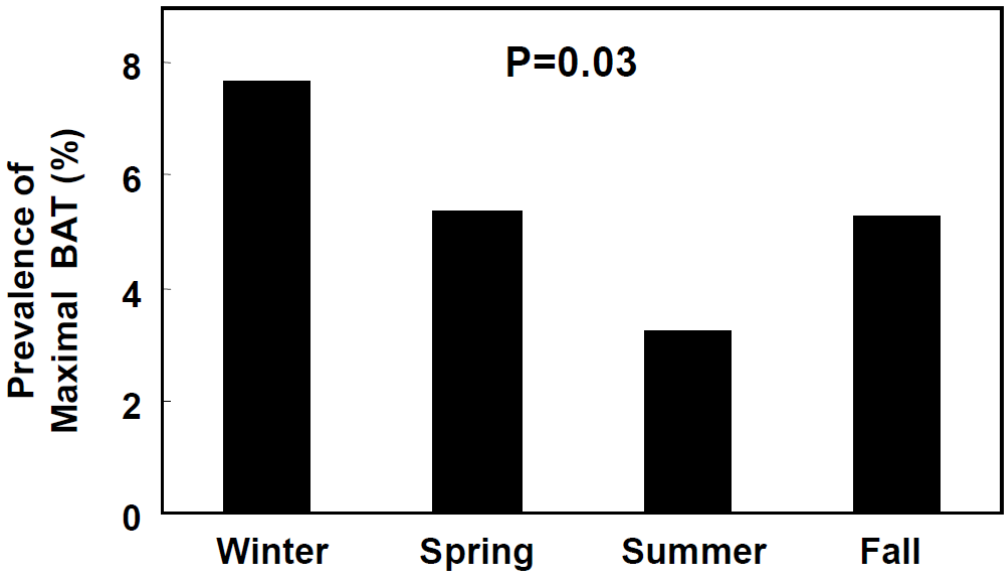
[11] Cílem studie bylo zjistit aktivitu BAT pomocí PET-MRI u pacientů vyšetřovaných zejména z důvodu onkologického stagingu (rozsahu) (186/192).

[12] DIT (diet-induced thermogenesis) = dietou indukovaná termogeneze - energie potřebná při zpracování a využití přijímané potravy

[13] RQ (respirátory quotient) = respirační kvocient

3.5.1 Vliv klimatu na BAT

Některé výzkumy poukazují na důležitost sezónních teplot ovlivňujících aktivitu hnědé tukové tkáně. Cypess a kol. (2009), který zkoumal aktivitu BAT na velkém souboru pacientů nemocnice v Bostonu, ukázal, že maximálních hodnot aktivace BAT dosahují pacienti nejčastěji v zimním období (obr. 8). Podobně Yoneshiro a kol. (2016) zjistili významně vyšší aktivitu BAT a následnou vyšší míru oxidace tuků v zimním, ve srovnání s letním obdobím.



Obr. 8. Prevalence maximální aktivity BAT (%) v jednotlivých ročních obdobích.

Aktivita BAT (jako podíl lidí s maximální aktivitou BAT v příslušném období vzhledem celkem 1 972 vyšetřeným pacientům) v jednotlivých ročních obdobích (v Bostonu). Převzato a upraveno z Cypess a kol. (2009).

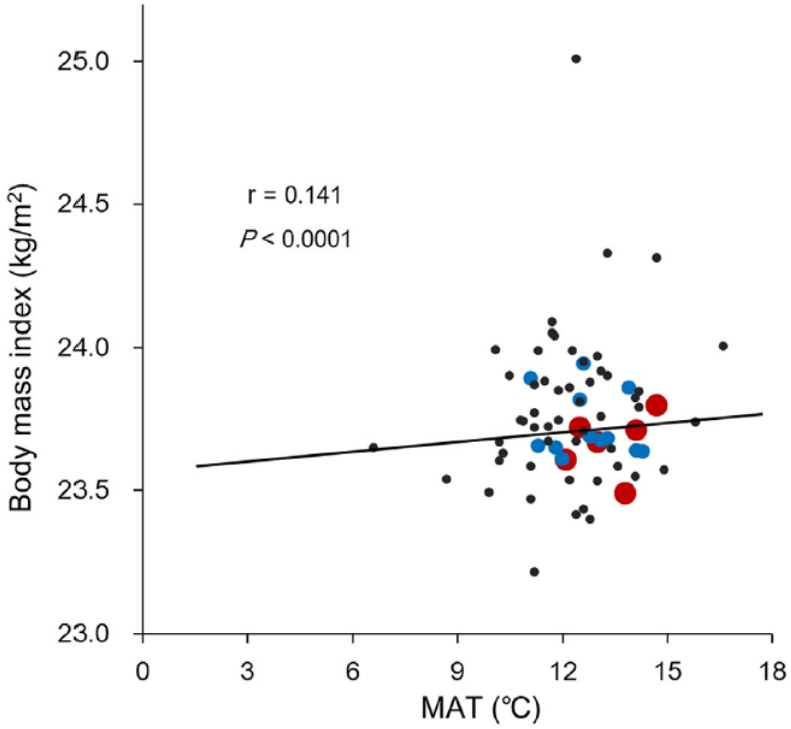
Pokud je tedy hnědý tuk skutečně aktivnější v chladném prostředí a zvyšuje oxidaci tuků, mohlo by se to projevit na BMI v závislosti na teplotě prostředí, resp. klimatu. Valdés a kol. (2014) zkoumal vztah mezi okolní teplotou a obezitou u španělské populace. Studie se zúčastnilo 5 061 dobrovolníků ve věku 18 – 93 let, od kterých byly získány informace týkající se věku, úrovně vzdělání, pracovního stavu, kouření, fyzické aktivity, spotřeby potravin, vypočteno BMI a další. Přehled o průměrných ročních teplotách z dané oblasti poskytla Španělská národní meteorologická agentura. Nejnižší průměrné roční tep-

loty byly zaznamenány ve středu a na severu, zatímco nejtepleji bylo na jihu a západě Španělska.

Prevalence obezity se postupně zvyšovala s narůstající průměrnou roční teplotou dané oblasti. Věk, mužské pohlaví, nízká úroveň vzdělání, rodinný stav, kouření, nízká fyzická aktivita a nesprávné dodržování středomořské stravy rovněž souviseli s obezitou. Závěr studie ukazuje vztah mezi okolní teplotou a obezitou u španělského obyvatelstva.

Obdobným problémem se zabýval Yang a kol. (2015), který se ve své studii zaměřil na to, zda existuje souvislost mezi teplotou okolního prostředí a prevalencí obezity u korejského obyvatelstva. Do výzkumu se zapojilo 124 354 dobrovolníků, kteří podstoupili různá vyšetření od antropometrického měření[14] až po rozbor krve. Nezbytné meteorologické parametry o průměrné roční teplotě, počtu dnů s průměrnou teplotou apod. byly získány od 71 pozorovacích stanic po celé Jižní Koreji. Přestože výsledná korelace mezi průměrnou roční teplotou (MAT) a BMI nebyla příliš silná (r = 0,141, viz obr. 9), souvislost mezi obezitou a průměrnou venkovní teplotou u korejské populace byla statisticky významná. Vysvětlení tohoto jevu by mohla být chladem indukovaná termogeneze.

[14] Konkrétně měření výšky, hmotnosti a obvodu pasu pro stanovení indexu tělesné hmotnosti a stanovení obezity v břišní oblasti.



Obr. 9. Korelace mezi průměrnou roční teplotou v dané oblasti (MAT) a BMI korejské populace. Převzato z Yang a kol. (2015). Červené body označují shluky s více než 5 000 pozorováními, modré s 1 000 – 5 000 a černé jsou shluky s méně než 1000 pozorováními (Yang a kol., 2015).

V dnešní době však lidé ve vyspělých zemích obvykle tráví více než 90 % svého života ve svých domovech. Tím, že trávíme více času v uzavřených prostorách, vnitřní klima se stává dominantním klimatem, kterému jsme vystaveni (Höppe a Martinac, 1998). Na základě těchto poznatků lze spekulovat, že na aktivitu hnědé tukové tkáně by mohla mít větší vliv právě pokojová teplota namísto teploty venkovní. S tímto předpokladem nejsou výše uvedené studie o souvislosti BMI a klimatu v rozporu – v zimním období anebo v chladnějších oblastech jsou i nižší vnitřní teploty (Ngyuen a kol., 2014). Přímou souvislost s BMI tedy může mít nejen venkovní, ale i vnitřní (pokojová) teplota.

Touto úvahou se zabýval již Johnson a kol. (2011), který ve své práci zjišťoval, zda dlouhodobější expozice teplotám blížícím se termoneutrální zóně a snížená expozice mírnému sezónnímu chladu mohou být faktory přispívající ke stoupajícímu výskytu obezity u lidí. Jako dalšího činitele, který by se mohl podílet na prevalenci obezity, Johnson a kol. (2011)

uvádí již zmíněnou sníženou expozici variabilním teplotám prostředí každodenního života. Více času stráveného v interiéru, široký přístup k ústřednímu topení a klimatizaci, levné ceny pohonných hmot, zlepšení energetické účinnosti v budovách a zvýšené očekávání tepelného komfortu – to vše přispívá ke snížení času stráveného pod mírným teplotním stresem (Johnson a kol., 2011).

Vyvstává otázka: „Existuje vztah mezi BMI a vnitřní teplotou?“

Na základě dostupných a zde shrnutých informací lze konstatovat, že:

a) BAT může být aktivní i u dospělých jedinců, přičemž se aktivita zvyšuje v chladných podmínkách během netřesové termogeneze,
b) v zimním období stoupá aktivita BAT,
c) aktivita BAT přispívá k oxidaci tuků, zvyšuje energetický výdej a může tedy snižovat BMI, resp. prevalenci obezity,
d) v chladnějších oblastech mívají lidé nižší BMI,
e) v rozvinutých zemích lidé tráví více času ve vnitřním, nežli vnějším prostředí.

Pozorovaná souvislost mezi BMI a venkovní teplotou tedy nemusí znamenat závislost BMI na vnější teplotě, ale – prostřednictvím skryté korelace mezi venkovní a vnitřní teplotou – závislost BMI na vnitřní (pokojové) teplotě.

Hlavním cílem této práce je zjistit, jestli BMI u lidí souvisí s vnitřní pokojovou teplotou, resp. ověřit hypotézu, že lidi s nižší pokojovou teplotou mají nižší míru BMI, resp. prevalenci obezity. Protože tepelný komfort je do jisté míry individuální, dalším cílem DP je zjistit vztah mezi BMI a frekvencí pociťovaného teplotního diskomfortu. Protože množství BAT závisí na pohlaví a obecně klesá s rostoucím věkem (Heaton, 1972; Pfannenberg a kol., 2010), dalším cílem DP bylo zjistit, jestli se souvislost mezi BMI a pokojovou teplotou mění u různých věkových skupin.

4 METODIKA

4.1 Výzkumný soubor

Pro vytyčené cíle bylo nutné shromáždit individuální data o pokojových teplotách a individuálních charakteristikách (zejm. výška a hmotnost) výzkumného vzorku. Pro zjištění případné závislosti BMI a pokojové teploty byl výzkum proveden u věkově různorodých jedinců. Děti ve věku 3 – 6 let (N = 31) navštěvovaly v době výzkumu (leden – březen 2016) MŠ Uherský Ostroh (N = 6) a MŠ J. Opletala v Českých Budějovicích (N = 25). Dále byly do výzkumu zahrnuty děti z prvního (N = 47) i druhého stupně ZŠ Uherský Ostroh (N = 37) ve věku 6 – 11, resp. 12- 14 let i studenti gymnázia Kyjov ve věkovém rozmezí 18 – 19 let (N = 48). Dospělí účastníci výzkumu se rekrutovali ze studentů PF JU z 1. – 3. ročníku bakalářského studia a 1. ročníku navazujícího magisterského studia (věkové rozmezí 19 – 27 let, N = 39). Charakteristiky zkoumaného souboru jsou uvedeny v tab. 7.

4.2 Sběr dat

Informace o pokojových teplotách byly získány prostřednictvím dotazníku, který vyplňovaly všechny zúčastněné osoby. Výjimku tvořily dotazníky dětí z MŠ a 1. stupně ZŠ, které vyplnili jejich rodiče, příp. zákonní zástupci (všechny osoby, resp. jejich zástupci, se výzkumu účastnily dobrovolně). Stěžejní částí dotazníku byla podrobná tabulka, do které měli účastníci výzkumu i zákonní zástupci dětí MŠ a 1. stupně ZŠ (dále respondenti) zapisovat večerní a ranní teplotu ve své ložnici (resp. v místnosti, kde spí) v 7 – 10 po sobě následujících dnech. Pro tyto účely byl respondentům poskytnut pokojový teploměr (AZ Domácí potřeby, č. produktu 9381710). Kromě toho sloužil dotazník (viz příloha 1) ke zjištění teplotních návyků dané osoby – zejména typu oblékání na noc a používané pokrývky. Kromě teplotních návyků v noci sloužil dotazník i ke zjištění dalších teplotních návyků během dne (teplota v denní místnosti, oblékaní přes den apod.). Protože však lze předpokládat značné rozdíly v množství času strávených v pokoji přes den i prováděné aktivitě, byly pro analýzy použity pouze teplotní návyky během noci. Spánek lze považovat za standardizovanou aktivitu, srovnatelnou u různých jedinců. Protože tepelný komfort

je individuální charakteristika, variabilní i v rámci homogenní populace (Humphreys & Hancock, 2007), byla do dotazníku zahrnuta i otevřená otázka na frekvenci subjektivního vnímání chladu. Odpovědi byly poté rozřazeny podle kategorií na škále od 0 – 5 (0: nikdy nebo zcela výjimečně; 1: ano, „občas“; 2: několikrát měsíčně/jednou týdně; 3: několikrát týdně; 4: každý den; 5: pořád).

Kdyby respondenti předem věděli záměr celého výzkumu, mohli by – úmyslně či neúmyslně – data zkreslit např. nepatrnou změnou udávaných teplot. Proto byl celý dotazník prezentován jako dotazník na zjištění teplotních návyků bez jakékoli souvislosti s BMI (dále viz relevance BMI z hlediska množství tělesného tuku). Z tohoto důvodu nebyl dotazník anonymní – během běžné školní docházky byla následně u všech respondentů standardizovanou metodikou zjištěna tělesná výška a hmotnost autorkou DP (výjimku tvořily děti z MŠ J. Opletala (Č. Budějovice), kde tělesnou výšku i hmotnost prováděli vyučující dané třídy v rámci standardně prováděného sběru dat). Tělesná výška byla měřena papírových metrem připevněným ke zdi. Byla měřena vzdálenost vrcholu hlavy od roviny podložky. Vyšetřované osoby stály vzpřímeně na rovné podložce bez obuvi, s patami a špičkami u sebe, paže volně spuštěné podél těla, hlava směřovala horizontálně. K měření tělesné hmotnosti byla použita osobní váha.

Všichni respondenti se pravý účel výzkumu dověděli až po sběru dat, vyučující či ředitelé příslušných škol byli o pravém účelu výzkumu informováni předem a poskytli s dobrovolným sběrem dat souhlas.

4.3 Doplňkové individuální charakteristiky

Kromě těchto základních charakteristik byla skupina dospělých respondentů, tzn. studentů PF JU, podrobena podrobnějšímu sběru dat. Tato podskupina (N = 37) byla navíc podrobena stanovení tělesného složení metodou měření bioimpedance profesionálním analyzátorem Bodystat ®1500, které vysokoškolští respondenti podstoupili v dopoledních hodinách, nalačno a vleže. Po odmaštění kůže technickým lihem a připevněním elektrod na hřbet ruky a nárt nohy byla do přístroje zadána vstupní data a proběhlo samotné měření. Více než 12 hodin před vyšetřením se respondenti měli vyvarovat jakékoliv fyzické námaze a požití alkoholu. Protože současně byl této podskupině respondentů změřen i obvod

pasu a boků, bylo možné na této podskupině určit případný další vztah mezi pokojovou teplotou a obsahem tuku, WSR (Waist to Stature ratio = poměr mezi obvodem pasu a výškou), WHR (Waist to Hip ratio = poměr mezi obvodem pasu a boků), či aktivní tělesnou hmotností. Protože tato skupina byla podrobena výzkumu jako první v pořadí (v lednu 2016), získané výsledky pomohly k ověření vhodnosti BMI jako indikátoru tělesného tuku (viz výsledky), protože tyto charakteristiky (BMI, WSR a obvod pasu) slouží obecně podobně dobře jako ukazatel tělesného tuku (Flegal a kol., 2009; viz však též Suchánek a kol., 2012). WHR bývá, spolu s BMI, důležitý ukazatel ženské atraktivity (Singh & Randall, 2007; Tovée a kol., 1999).

4.4 Důvěryhodnost reportovaných teplot

Díky použitému designu výzkumu je samozřejmě klíčová důvěryhodnost, resp. pravdivost odpovědí v dotazníku. Zvláštní pozornost si zde zaslouží zaznamenávané teploty, protože ačkoli zapsat dvakrát denně teplotu do dotazníku není příliš náročné či namáhavé, lze předpokládat, že z různých důvodů mohou právě toto lidi provádět nepřesně či dokonce nepravdivě. Z tohoto důvodu byla výše zmíněná podskupina respondentů z PF JU použita i jako validátor důvěryhodnosti udávaných pokojových teplot. Současně s dotazníkem obdrželi kromě rtuťových teploměrů také záznamové teploměry (HOBO Pendant Datalogger; výrobce Onset, Cape Cod, MT, USA; PN UA-001-08), které měli mít umístěné v blízkosti své postele. Respondenti byli přesvědčeni o tom, že dataloggery slouží k měření CO_2 a intenzity osvětlení namísto měření teploty. Nebyli proto více motivováni zaznamenávat reálné teploty. Skutečná funkce dataloggeru byla respondentům sdělena po odevzdání vyplněných dotazníků.

4.5 Statistické hodnocení dat

Podrobná data tělesných charakteristik

Podrobná data tělesných charakteristik studentů PF JU zahrnovala podíl tělesného tuku, aktivní tělesnou hmotnost, BMI, WSR, obvod pasu a WHR. Individuální charakteris-

tiky byly analyzovány prostřednictvím PCA (Principal Component Analysis; Analýza hlavních komponent) a korelačními maticemi.

Protože průměrná hodnota BMI i aktivita BAT se mění s věkem a je závislá na pohlaví (McCarthy a kol., 2006; Pfannenberg a kol., 2010; Yoneshiro a kol. 2011), BMI ani jiné tělesné charakteristiky nemohou být jednoduše použity pro srovnání v rámci pohlavně a věkově heterogenní skupiny. Všechny základní analýzy byly proto provedeny jednotlivě ve věkových skupinách obou pohlaví: a) 3 – 10 let; b) 11 – 18 let; c) 19 – 27 let (tab. 7). I tyto skupiny, zejména pro mladší děti, jsou značně věkově heterogenní. Lepší by bylo použít jemnější rozdělení, což by však snížilo počty případů v jednotlivých věkových třídách pod hranici interpretovatelnosti (dále viz obejití tohoto omezení díky použití BMI korigovaného dle věku a pohlaví).

V těchto jednotlivých věkových třídách byla provedena jednoduchá regresní analýza s BMI jako vysvětlovanou proměnnou a průměrnou teplotou v ložnici jako proměnnou vysvětlující (průměrná noční teplota v ložnici byla stanovena jako aritmetický průměr večerní a ranní teploty v ložnici). Takto nastavená analýza vychází z předpokladu, že BMI může záviset na teplotě v ložnici během spánku. Tento předpoklad je založen na prokázané aktivaci BAT již mírně sníženými teplotami (viz kap. 3.5). Teoreticky je také možné, že by kauzalita byla opačná – že jedinci s rozdílným BMI preferují různou noční teplotu. Tuto možnost nelze vyloučit, v kap. 6 je dále diskutována.

V různých teplotách se různí lidé cítí více či méně příjemně – liší se z hlediska teplotního komfortu (Humphreys & Hancock, 2007). Je možné, že aktivace BAT závisí spíše na odchylce od termoneutrální zóny než na absolutní teplotě. Proto bylo BMI vyhodnoceno i v závislosti na frekvenci subjektivního vnímáním chladu každého subjektu. Tato proměnná nebyla zjišťována u nejmladší věkové třídy (dětí z MŠ, 1. a některých i z 2. stupně ZŠ), kde dotazník vyplňovali rodiče, a lze předpokládat, že odpovědi na otázku: „Bývá Vašemu dítěti někdy doma zima?“ by byly značně zkreslené.

Dané rozdělení všech dat na skupiny dle věku a pohlaví samozřejmě snižuje počet pozorování a tím sílu všech statistických testů. Tato nevýhoda zmizí, pokud je BMI nahrazeno „BMI třídou“ – kategorií, stanovenou percentilovým rozdělení BMI dle věku a pohlaví. Pro tyto kategorie byly použity percentilové tabulky BMI dle Vignerové a kol. (2006).

Tyto tabulky obsahují hraniční hodnoty 3., 10., 25., 50., 75., 90. a 97. Percentilu pro dané pohlaví a věk (s přesností 0,2 - 1 rok). Takto tabulky lze přímo použít ke kategorizaci daného BMI do 8 BMI tříd (1 – 8). Kvůli jemnějšímu škálování tříd BMI byly ještě některé kategorie rozděleny do podtříd (1; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8) s hranicemi intervalu jako aritmetickým průměrem součtu hranic intervalu původní BMI třídy (tedy např. chlapci o věku 6 let mají hranici 3. percentilu BMI = 13,1; hranici 10. percentilu BMI = 13,7; hranici 25. percentilu BMI = 14,5 atd. Použité BMI třídy pro daný věk a pohlaví tedy byly: třída 1 ≈ BMI < 13,1; třída 2 ≈ BMI 13,1 až 13,4; třída 2,5 ≈ 13,4 až 13,7; třída 3 ≈ BMI 13,7 až 14,1; třída 3,5 ≈ BMI 14,1 až 14,5 atd.). Takto určené BMI třídy byly použity jako vysvětlovaná proměnná pro lineární regresi s a) průměrnou noční teplotou v ložnici b) frekvence subjektivního vnímání chladu jako vysvětlující proměnnou. Bohužel není k dispozici percentilové rozdělení BMI české populace starších 18 let. Dospělí účastníci výzkumu byli proto rozděleni do BMI tříd jako 18letí jedinci.

Zásadním krokem při analýze získaných dat je zahrnutí vlivu tepelné izolace (oblečení a typ přikrývky) během nočního spánku všech subjektů. Je samozřejmé, že pokud má určitý respondent v ložnici nízkou teplotu, ale přitom spí v teplém pyžamu s dlouhými nohavicemi, rukávy, ponožkami a přikrytý peřinou, není během spánku nízkým teplotám vystaven. K datům všech subjektů byly proto přiřazeny váhy v závislosti na jejich oblečení a typu přikrývky (tab. 3) tak, že čím méně byl daný jedince izolován od okolní teploty (méně či lehčí oblečení, slabší přikrývka), tím dostal vyšší váhu (tím více se jeho data v analýzách projevila). Jedinec s vysokou vahou byl tedy spíše skutečně vystaven reálným teplotám v ložnici, než jedinec s nízkou vahou (hodně tepelně izolován od okolí).

Tab. 3. Kategorie tepelné izolace během spánku (noční oblečení a typ přikrývky) spolu s přiřazenou váhou (v závorce). Celková váha tepelné izolace během noci byla stanovena jako součet dílčích vah (horní část těla, dolní část těla, chodidla, přikrývka). Nejvyšší váhu tak měli nejméně tepelně izolovaní jedinci.

Horní část těla (váha tepelné izolace)	**Dolní část těla** (váha tepelné izolace)	**Chodidla** (váha tepelné izolace)	**Přikrývka** (váha tepelné izolace)
dlouhý rukáv (1)	dlouhé kalhoty (1)	teplé ponožky (1)	peřina (1)
krátký rukáv (2)	krátké kalhoty (2)	tenké ponožky (2)	teplá přikrývka (2)
spodní prádlo nebo nic (3)	spodní prádlo nebo nic (3)	nic (3)	lehká přikrývka (3)
			prostěradlo nebo nic (4)

Rigoróznější postup by bylo použít jako váhu skutečnou hodnotu tepelné izolace daného oblečení či přikrývky v jednotkách *clo* (tepelná izolace oblečení, 1 clo = 0,155 $K \cdot m^2 \cdot W^{-1}$ kde K = Kelvin (teplota), m^2 = metr čtvereční a W = Watt). Zatímco jednotky clo jsou empiricky změřené a dostupné pro různé typy oblečení (viz normy ISO 7730 (2005) a ISO 9920 (2007)), pro různé přikrývky se nepodařilo hodnoty vyhledat a pravděpodobně neexistují. Výjimku tvoří přikrývky kojenců, kde však existují hodnoty jen pro některé typy přikrývek (viz Tourula a kol. 2011) a pro daný výzkum (i vzhledem k odlišené tělesné konstituci kojenců) jsou tato data nepoužitelná.

Jako základní výsledky regresní analýzy jsou uváděny Pearsonův korelační koeficient *r* a dosažená hladina významnosti *p;* především v případě statisticky významné závislosti ještě koeficient determinace R^2 (odpovídající procentu variability vysvětlené regresním modelem) a kompletní regresní rovnice (závislost BMI., resp. BMI třídy na průměrné noční teplotě v ložnici, resp. frekvenci subjektivního vnímání chladu). Protože v případě analýzy proměnných „BMI třída“ a „frekvence subjektivního vnímání chladu“ jde o vzájemnou korelaci dvou ordinálních proměnných, byla kromě standardní lineární regrese a korelace provedena ještě neparametrická Spearmanova korelace. Všechny analýzy byly provedeny v softwaru Statistica 13 (Dell, Tulsa, OK, USA).

4.6 Seznam použitých zkratek

β-ox	(Beta oxidation) Beta-oxidace
^{18}F-FDG	(^{18}F-fluordeoxyglucose) ^{18}F-fluordeoxyglukóza
ATH	Aktivní tělesná hmota
ATP	Adenosintrifosfát
BAT	(Brown adipose tissue) Hnědá tuková tkáň
BMI	(Body mass index) Index tělesné hmotnosti
BV	(Blood vessel) Céva
CAC	(Citric acid cycle) Cyklus kyseliny citronové = Krebsův cyklus
cAMP	(Cyclic adenosine monophosphate) Cyklický adenosinmonofosfát
CIT	(Cold-induced thermogenesis) Chladem indukovaná termogeneze
Clo	(Clothing insulation) Izolace oděvu
CT	(Computed tomography) Výpočetní tomografie
DECT	(Dual-energy computed tomography) Výpočetní tomografie s duální energií záření
DIT	(Diet induced thermogenesis) Dietou indukovaná termogeneze
DP	Diplomová práce
EE	(Energy expenditure) Energetický výdej
FFA	(Free fatty acid) Volné mastné kyseliny
HSL	(Hormone-sensitive lipase) Hormon-senzitivní lipáza
MAT	(Mean annual temperature) Průměrná roční teplota
MRI	(Magnetic resonance imaging) Magnetická rezonance
NA	(Noradrenaline) Noradrenalin
NK	Nepřímá kalorimetrie

NS	Nervová soustava
NT	Netřesová termogeneze
PCA	(Principal component analysis) Analýza hlavních komponent
PET	(Positron-emission tomography) Pozitronová emisní tomografie
PF JU	Pedagogická fakulta Jihočeské univerzity
PKA	(Protein kinase A) Proteinkináza A
RQ	(Respiratory quotient) Respirační kvocient
SD	(Standard deviation) Směrodatná odchylka
SE	(Standard error) Střední chyba
TT	Třesová termogeneze
UCP 1	(Uncoupling protein 1) Rozpojovací protein 1
VŠ	Vysoká škola
WAT	(White adipose tissue) Bílá tuková tkáň
WHR	(Waist to Hip ratio) Poměr mezi obvodem pasu a boků
WSR	(Waist to Stature ratio) Poměr mezi obvodem pasu a výškou

5 VÝSLEDKY

5.1 Charakteristika VŠ studentů

Podrobnějšímu sběru dat byla podrobena skupina 33[15] studentů PF JU (viz obr. 10). Skupina 24 studentek ve věkovém rozmezí 19 – 24 let měla průměrnou tělesnou hmotnost 65,17 kg, průměrnou výšku 169,69 cm a průměrné BMI 22,57 kg/m^2. U 9 studentů ve věku 21 – 26 let činila průměrná hmotnost 82,67 kg, průměrná tělesná výška 182,78 cm a průměrný BMI byl 24,68 kg/m^2.

Tab. 4A) Charakteristika VŠ studentů, podrobených detailní analýze tělesných parametrů – věková struktura.

Pohlaví a věkové třídy	Počet subjektů	Věkový průměr	Medián věku	Minimální věk	Maximální věk	Směrodatná odchylka věku
Ženy	24	21,46	21,5	19	24	1,28
Muži	9	22,56	22	21	26	1,51
Obě pohlaví	**33**	**21,76**	**22**	**19**	**26**	**1,41**

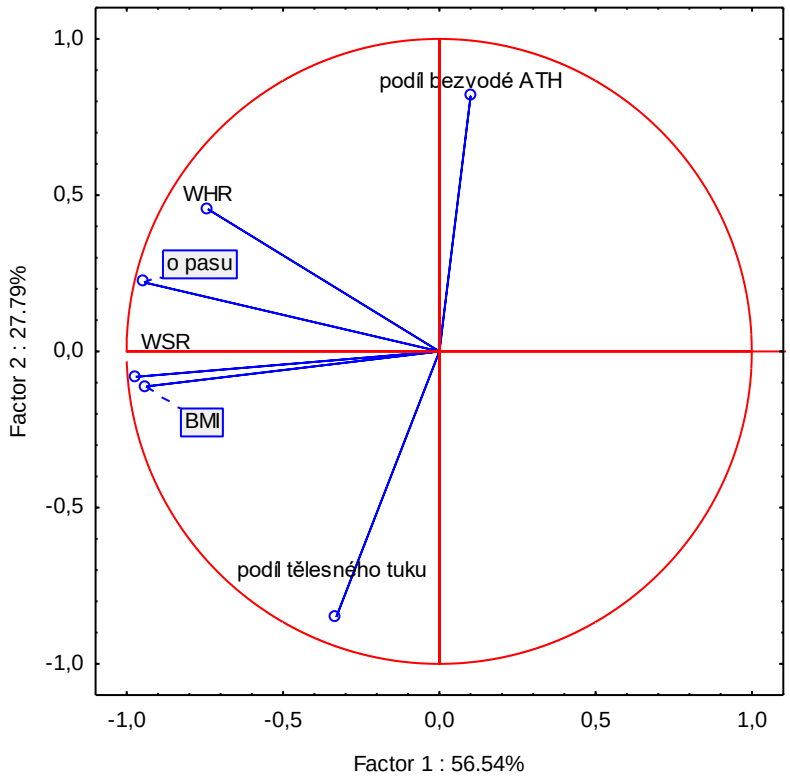
Tab. 4B) Charakteristika VŠ studentů, podrobených detailní analýze tělesných parametrů – hmotnost, výška, BMI .

Pohlaví a věkové třídy	Průměrná hmotnost [kg]	Průměrná výška [cm]	Průměr BMI [kg×m^{-2}]	Směrodatná odchylka BMI [kg×m^{-2}]
Ženy	65,17	169,69	22,57	3,21
Muži	82,67	182,78	24,68	4,12
Obě pohlaví	**69,94**	**173,26**	**23,15**	**3,54**

[15] Studentů v této skupině bylo celkem 37, pro čtyři z nich však nebyly k dispozici kompletní data. V některých dílčích korelacích tak může být celkový počet platných případů vyšší než 33.

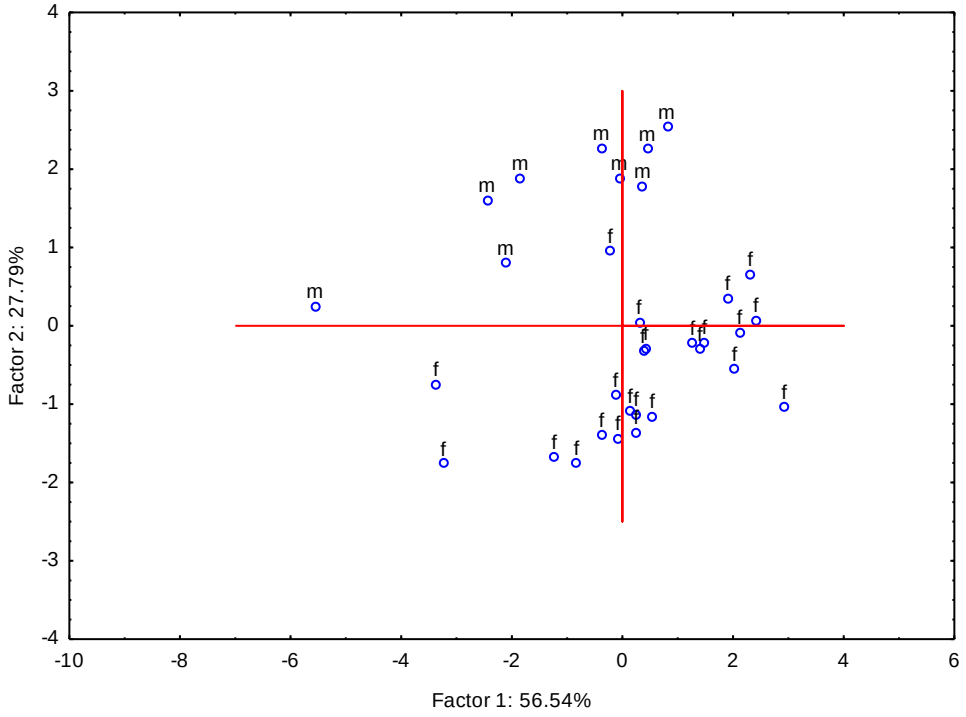
Podrobná analýza tělesných charakteristik VŠ studentů

Podrobná analýza tělesných charakteristik VŠ studentů (N = 33, základní charakteristika v tab. 4) prostřednictvím PCA ukázala, že dané vysvětlované proměnné (podíl tělesného tuku; podíl bezvodé aktivní tělesné hmoty (ATH); BMI, WSR, WHR a obvod pasu) lze dobře popsat prostřednictvím tří faktorů (tři osy (faktory) postihnou 95 % variability dat). Všechny čtyři snadno změřitelné charakteristiky (BMI, WSR, WHR a obvod pasu) přibližně odpovídají první ose (ta vysvětlila 56,54 % variability), zatímco podíl tělesného tuku a bezvodá ATH negativně korelují, přibližně ve směru druhé osy (vysvětlila 27,79 % variability) (obr. 10).



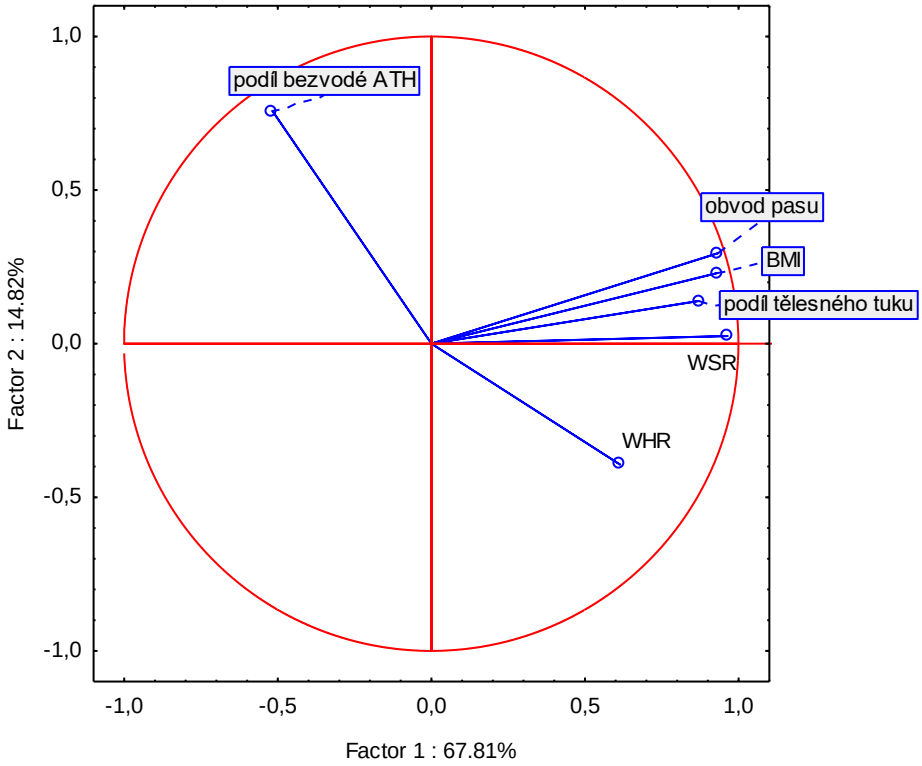
Obr. 10. PCA všech VŠ studentů (N = 33) ukázala souhlasný trend BMI, WSR, WHR i obvodu pasu. Tři osy vysvětlily celkem 95 % variability. Na grafu je znázorněna první a druhá osa.

Zajímavý obrázek poskytuje promítnutí jednotlivých subjektů do souřadnicového systému první a druhé osy této analýzy. Tato projekce vytvoří dvě disjunktní množiny, separované dle pohlaví (obr. 11). Je vidět, že měřené tělesné charakteristiky je nutné hodnotit zvlášť u mužů a u žen.



Obr. 11. Projekce jednotlivých případů do souřadnicového systému první a druhé osy dle PCA vytvoří disjunktní množiny mužů (m) a žen (f).

PCA provedena pouze pro ženy (N = 24) ukázala vysokou korelaci mezi podílem tělesného tuku a BMI, WSR i obvodem pasu (obr. 12, tab. 5). Stranou těchto charakteristik leží WHR, které u hodnocených žen nekoreluje významně s podílem tělesného tuku ani BMI (tab. 5).



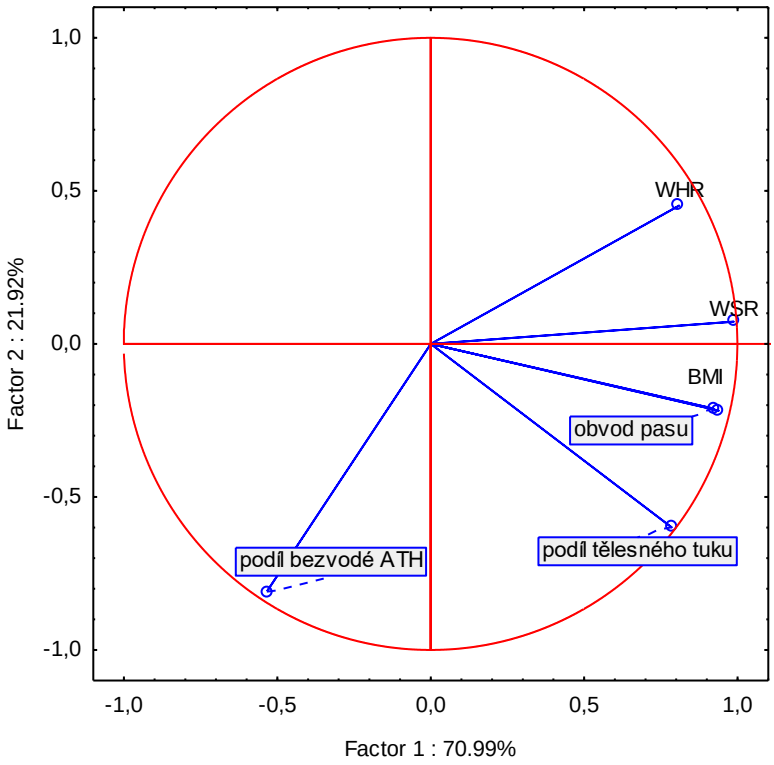
Obr. 12. PCA VŠ studentů ženského pohlaví (N = 24) ukázala souhlasný trend BMI, WSR, obvodu pasu a podílu tělesného tuku. Tři osy vysvětlily celkem 95 % variability. Na grafu je znázorněna první a druhá osa.

Tab. 5. Korelační analýza tělesných charakteristik VŠ studentů ženského pohlaví. Uvedeny jsou korelační koeficienty jednotlivých proměnných.

	WSR	**BMI**	**Obvod pasu**	**Podíl tělesného tuku**	**Podíl bezvodé ATH**	**WHR**
WSR		0,86	0,95	0,77***	-0,46*	0,6
BMI	0,86		0,9	0,86***	-0,36	0,41
Obvod pasu	0,95	0,9		0,78***	-0,21	0,53
Podíl tělesného tuku	0,77***	0,86***	0,78***		-0,46	0,29
Podíl bezvodé ATH	-0,46*	-0,36	-0,21	-0,46		-0,35
WHR	0,6	0,41	0,53	0,29	-0,35	

*p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001

PCA provedena pouze pro muže (N = 9) ukázala také korelaci mezi podílem tělesného tuku a BMI, WSR i obvodem pasu (obr. 13, tab. 6). Významná korelace byla zjištěna mezi podílem tělesného tuku a BMI, obvodem pasu i WSR.



Obr. 13. PCA VŠ studentů mužského pohlaví (N = 9) ukázala souhlasný trend BMI, WSR, obvodu pasu a podílu tělesného tuku. Tři osy vysvětlily celkem 96 % variability. Na grafu je znázorněna první a druhá osa.

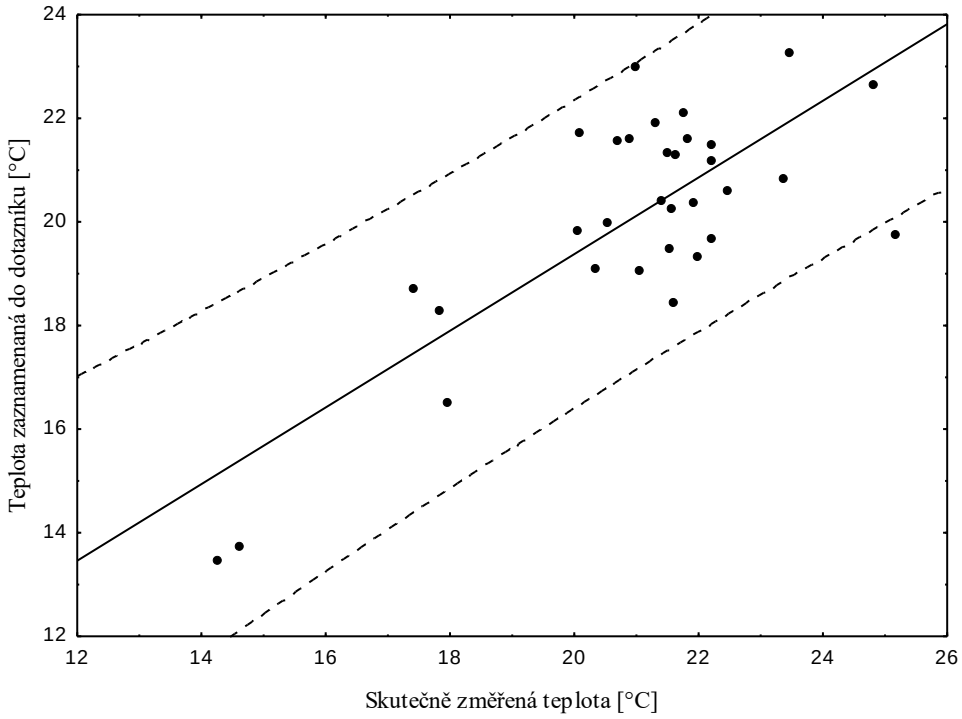
Tab. 6. Korelační analýza tělesných charakteristik VŠ studentů mužského pohlaví. Uvedeny jsou korelační koeficienty jednotlivých proměnných.

	WSR	**BMI**	**Obvod pasu**	**Podíl tělesného tuku**	**Podíl bezvodé ATH**	**WHR**
WSR		0,92	0,87	0,74*	-0,61	0,8
BMI	0,92		0,85	0,85**	-0,33	0,64
Obvod pasu	0,87	0,85		0,83**	-0,33	0,64
Podíl tělesného tuku	0,74*	0,86**	0,83**		0,05	0,36
Podíl bezvodé ATH	-0,61	-0,33	-0,33	0,05		-0,71*
WHR	0,8	0,65	0,64	0,36	-0,71*	

*p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001

Důvěryhodnost udávaných teplot

Teploty, které VŠ studenti zaznamenávali do dotazníku, relativně dobře odpovídaly skutečně změřeným teplotám poskytnutým dataloggerem (obr. 14), většinou se pohybovaly v rozmezí ± 1°C.



Obr. 14. Vzájemný vztah mezi teplotou zaznamenanou do dotazníku a skutečně změřenou teplotou (v časový okamžik, označeným respondentem jako čas měření teploty). Korelace je vysoce průkazná ($r = 0,78$; $p < 10^{-6}$).

5.2 Charakteristika kompletního základního souboru

Kompletní zkoumaný soubor tvořilo 202 respondentů, 111 žen a 91 mužů, ve věkovém rozmezí 3 – 27 let. Respondenti byli rozděleni do věkových kategorií podle hrubšího věkového rozlišení (viz tab. 7). Průměrné hodnoty BMI v jednotlivých věkových kategoriích u mužů i žen s věkem postupně rostou (obr. 15).

Skupina 35 dívek mladších 11 let měla průměrnou tělesnou hmotnost 25,94 kg, průměrnou tělesnou výšku 123,67 cm a průměrné BMI 16,49 kg/m^2. U 30 dívek ve věku 11 – 18 let činila průměrná tělesná váha 55,87 kg, průměrná tělesná výška 164,43 cm a průměrný BMI

byl 20,59 kg/m^2. Nejpočetnější soubor, 46 respondentek, tvořily ženy starší 18 let s průměrnou tělesnou hmotností 63,19 kg, průměrnou tělesnou výškou 167,54 cm a průměrnou mírou BMI 22,45 kg/m^2.

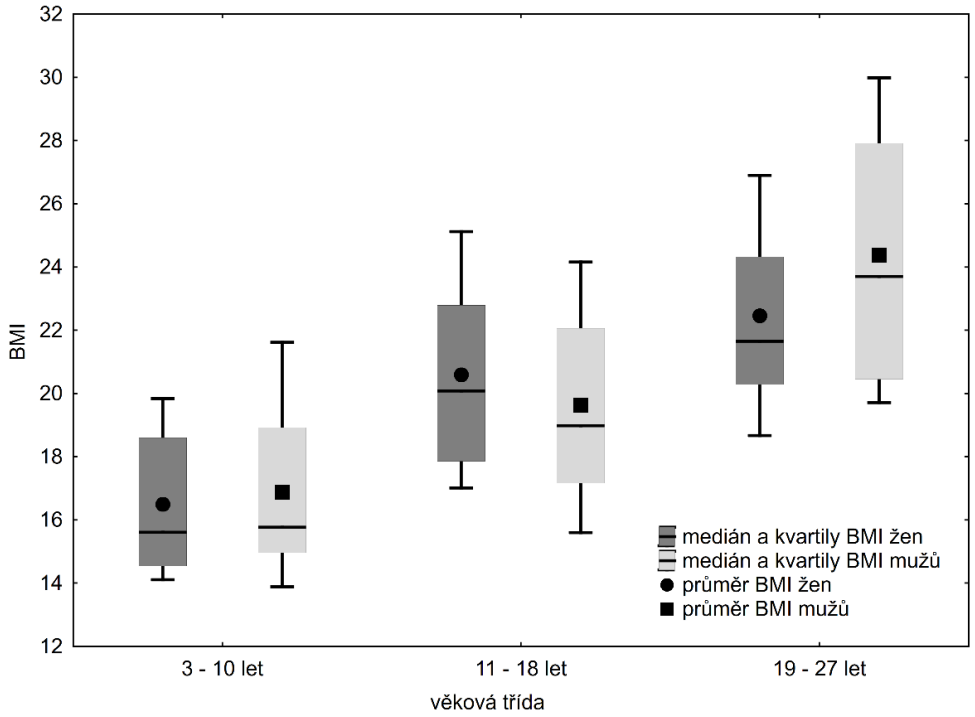
U 42 chlapců mladších 11 let dosahovala průměrná tělesná váha hodnoty 28,39 kg, průměrná tělesná výška 127,58 cm a průměrný BMI byl 16,89 kg/m^2. Dále se šetření zúčastnilo 26 chlapců ve věku mezi 11 – 18 lety s průměrnou tělesnou hmotností 54,38 kg, průměrnou tělesnou výškou 165,12 cm a průměrnou mírou BMI 19,63 kg/m^2. Nejméně početnou skupinu tvořilo 23 mužů starších 18 let s průměrnou tělesnou váhou 79,87 kg, průměrnou tělesnou výškou 181,09 cm a průměrným BMI 24,38 kg/m^2.

Tab. 7A) Charakteristika kompletního základního souboru – věk.

Pohlaví a věkové třídy	**Počet subjektů**	**Věkový průměr**	**Medián věku**	**Minimální věk**	**Maximální věk**	**Směrodatná odchylka věku**
Ženy	**111**	**14,69**	**18**	**3**	**27**	**6,54**
3 – 10 let	35	6,31	6	3	10	2,36
11 – 18let	30	15,10	14	12	18	2,48
19 – 27 let	46	20,80	21	19	27	1,86
Muži	**91**	**12,35**	**12**	**3**	**26**	**6,06**
3 – 10 let	42	6,79	7	3	10	2,30
11 – 18 let	26	14,23	13,5	11	18	2,23
19 – 26 let	23	20,39	19	19	26	1,99
Obě pohlaví	**202**	**13,64**	**13,5**	**3**	**27**	**6,42**

Tab. 7B) Charakteristika kompletního základního souboru – hmotnost, výška, BMI.

Pohlaví a věkové třídy	Průměrná hmotnost [kg]	Průměrná výška [cm]	Průměr BMI [kg×m^{-2}]	Směrodatná odchylka BMI [kg×m^{-2}]
Ženy	**49,47**	**152,87**	**20,07**	**3,86**
3 – 10 let	25,94	123,67	16,49	2,38
11 – 18let	55,87	164,43	20,59	2,97
19 – 27 let	63,19	167,54	22,45	3,25
Muži	**48,83**	**151,83**	**19,56**	**4,49**
3 – 10 let	28,39	127,58	16,89	3,08
11 – 18 let	54,38	165,12	19,63	3,00
18 – 26 let	79,87	181,09	24,38	4,10
Obě pohlaví	**49,18**	**152,40**	**19,84**	**4,16**

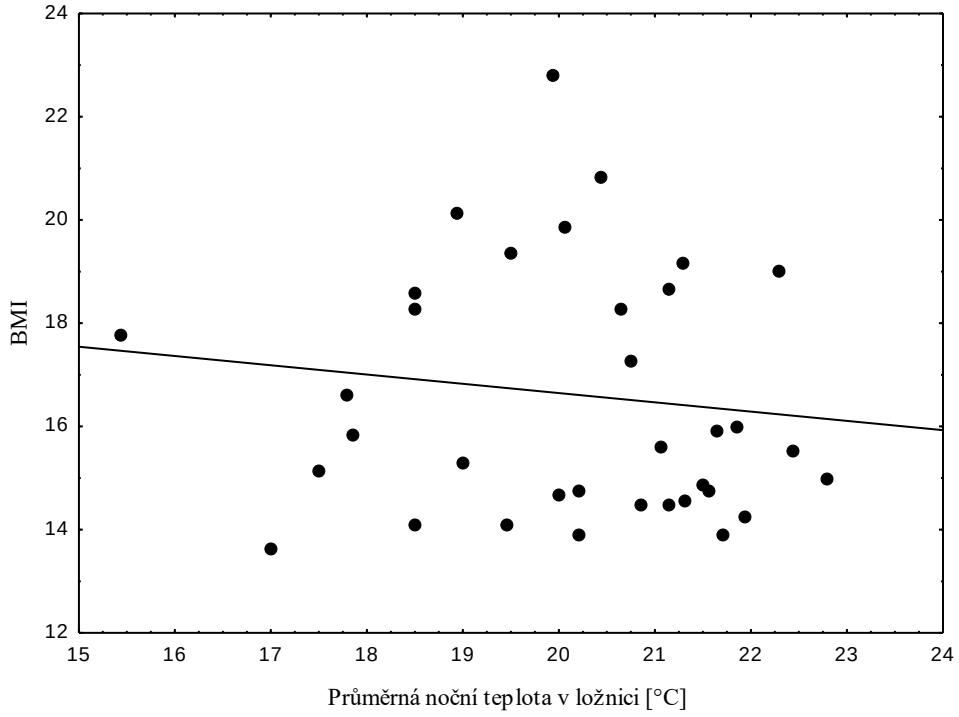


Obr. 15. Průměrné hodnoty BMI pro jednotlivé věkové kategorie u mužů a žen. Vertikální úsečky označují 10. a 90. percentil.

Vztah mezi BMI a průměrnou noční teplotou v ložnici, resp. frekvencí pocitu chladu u jednotlivých věkových skupin

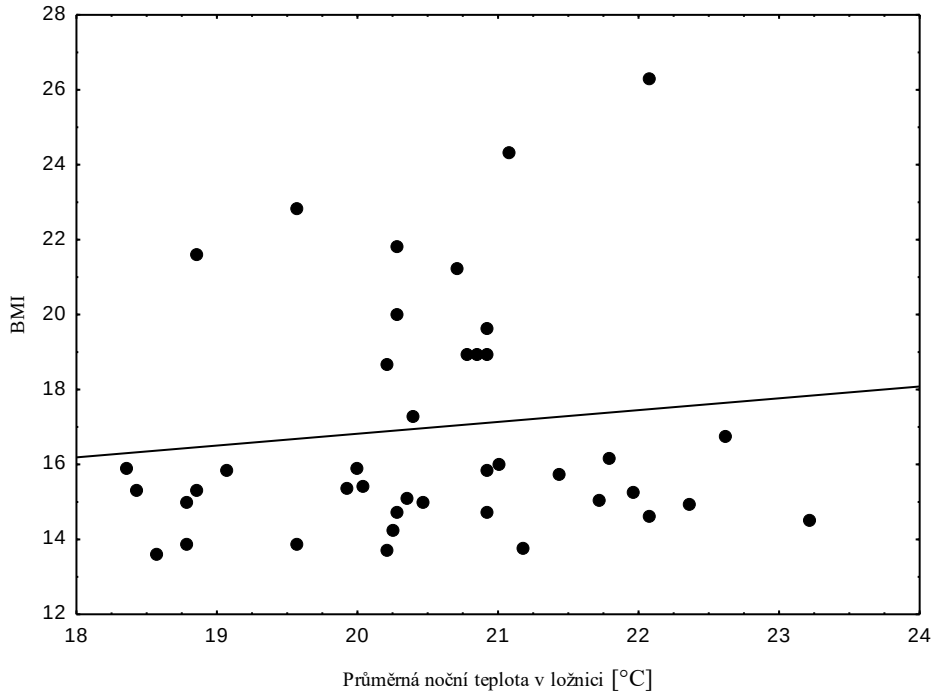
Dívky 3 – 10 let

V dané skupině bylo hodnoceno 35 dívek. Z výsledků lineární regrese lze konstatovat, že závislost BMI na průměrné noční teplotě v ložnici není statisticky významná ($p = 0,06$), přičemž BMI těchto dívek s rostoucí teplotou mírně klesalo ($r = -0,14$).



Obr. 16. Závislost BMI u 35 dívek 3 – 10 let na průměrné noční teplotě v ložnici [°C]. S rostoucí průměrnou teplotou v ložnici BMI mírně klesá ($r = -0,14$), závislost není statisticky významná ($p = 0,06$).

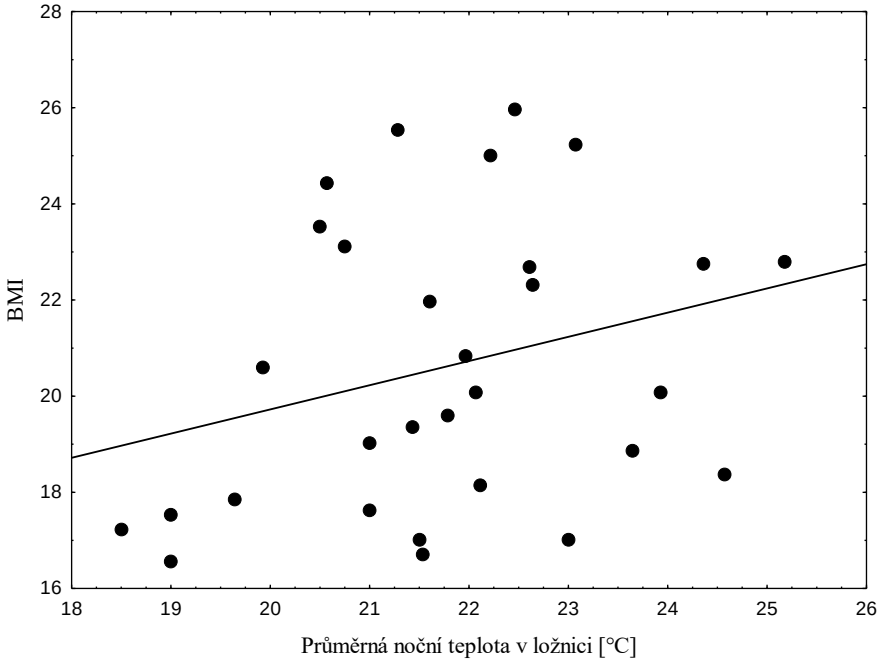
Chlapci 3 – 10 let



Obr. 17. Závislost BMI u chlapců 3 – 10 let na průměrné noční teplotě v ložnici [°C] není průkazná (p = 0,09), korelace je pozitivní (r = 0,12).

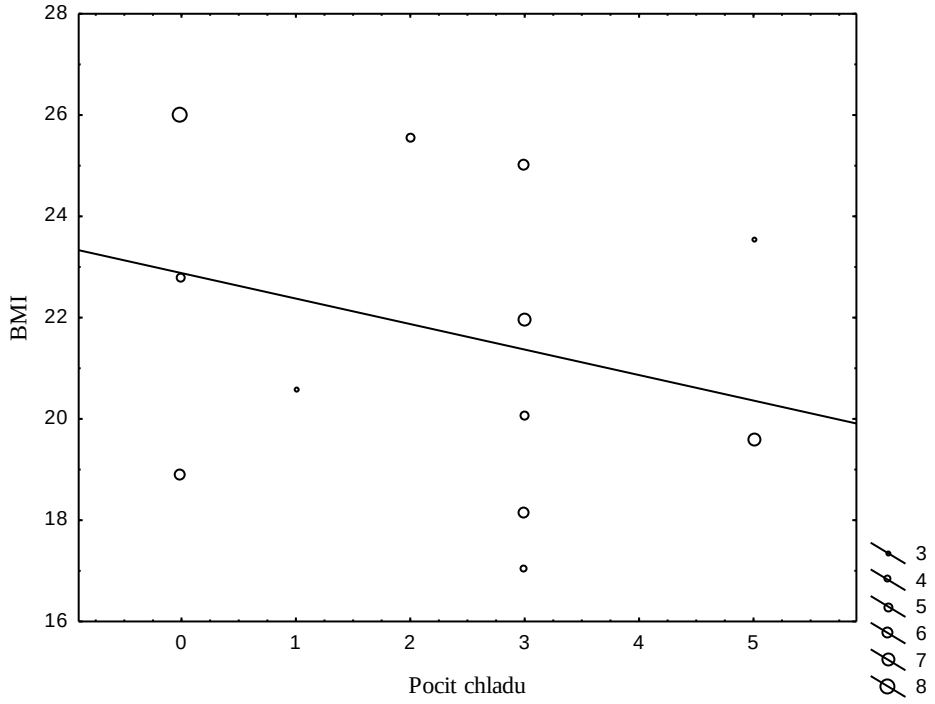
U 42 chlapců mladších 11 let byla zjištěna slabá pozitivní korelace mezi BMI a průměrnou noční teplotou v ložnici (r = 0,12). Závislost mezi BMI a průměrnou noční teplotou v ložnici není průkazná (p = 0,09).

Dívky 11 – 18 let



Obr. 18. Závislost BMI na průměrné noční teplotě v ložnici [°C] u dívek ve věkovém rozmezí 11 – 18 let. Korelace je významná ($r = 0,27$; $p < 10^{-3}$).

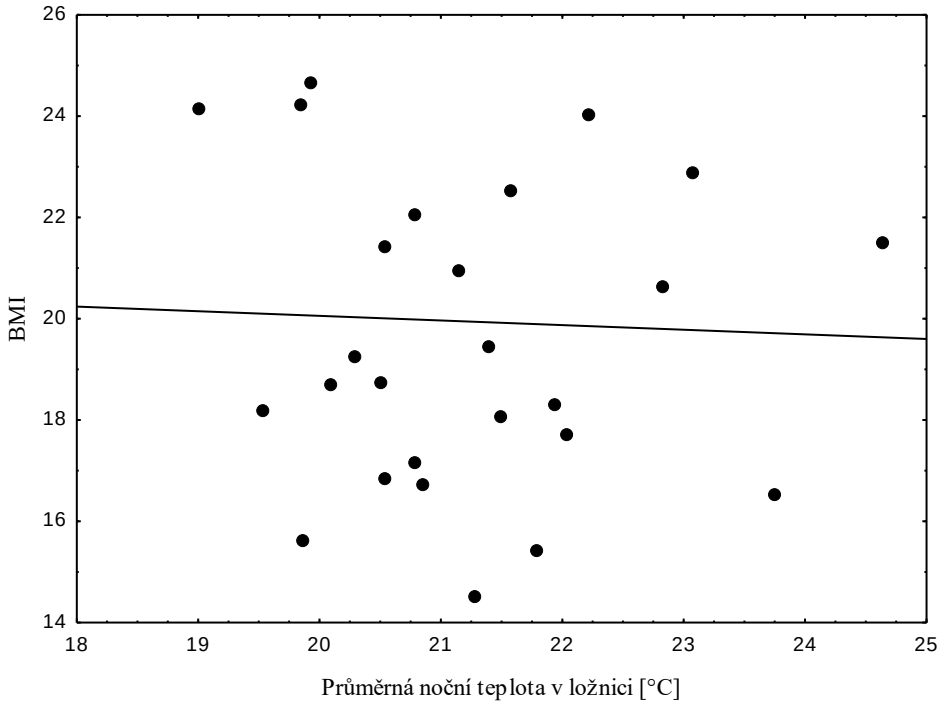
Ve skupině 30 dívek ve věkovém rozmezí 11 – 18 let byla korelace mezi BMI a průměrnou noční teplotou ložnice pozitivní ($r = 0,27$) a průkazná ($p < 10^{-3}$). S rostoucí pokojovou teplotou tedy roste i BMI ($BMI = 9,65 + 0,5 \times t$). Pokojová teplota vysvětlila celkem 7 % variability BMI měřeného vzorku dívek ($R^2 = 0,07$).



Obr. 19. Závislost BMI na frekvenci subjektivního vnímání chladu u dívek ve věkovém rozmezí 11 – 18 let. Korelace je statisticky průkazná (p = 0,02). Velikost bodu odpovídá počtu případů.

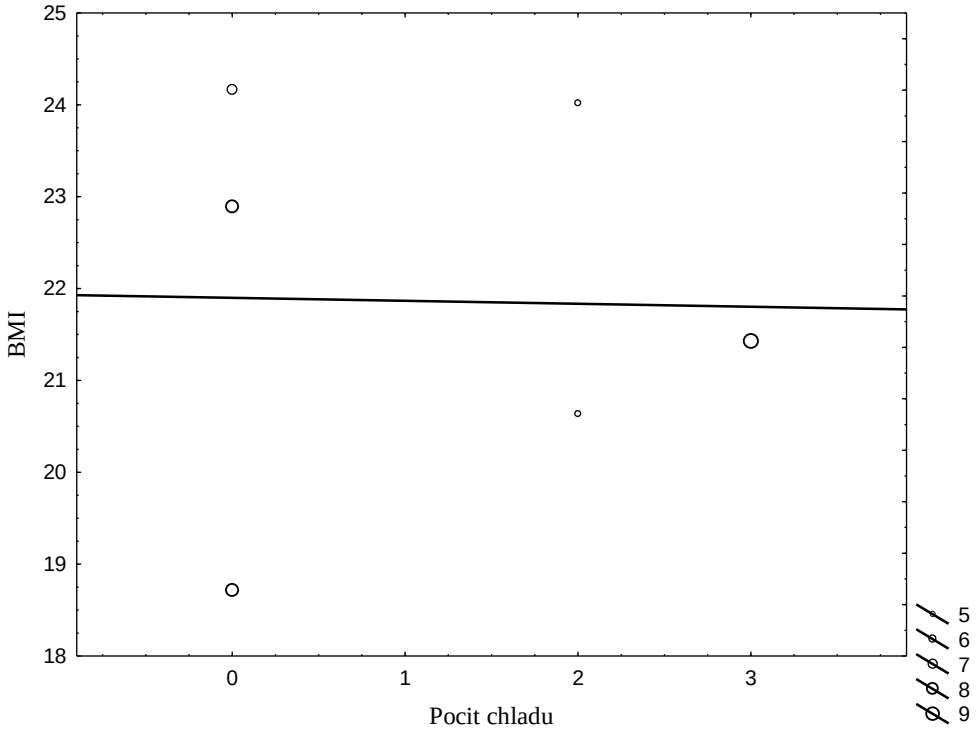
Podobně se ukázala významná závislost mezi BMI a frekvencí subjektivního vnímání chladu u této skupiny dívek (r = -0,29). Závislost mezi proměnnými je průkazná (p = 0,02), přičemž BMI dívek s častějším pocitem chladu klesalo. Subjektivní vnímání chladu vysvětlilo 8,7 % variability BMI měřeného vzorku dívek (R^2 = 0,087).

Chlapci 11 – 18 let



Obr. 20. Závislost BMI na průměrné noční teplotě v ložnici [°C] u chlapců ve věkovém rozmezí 11 – 18 let. Korelace není signifikantní (p = 0,64).

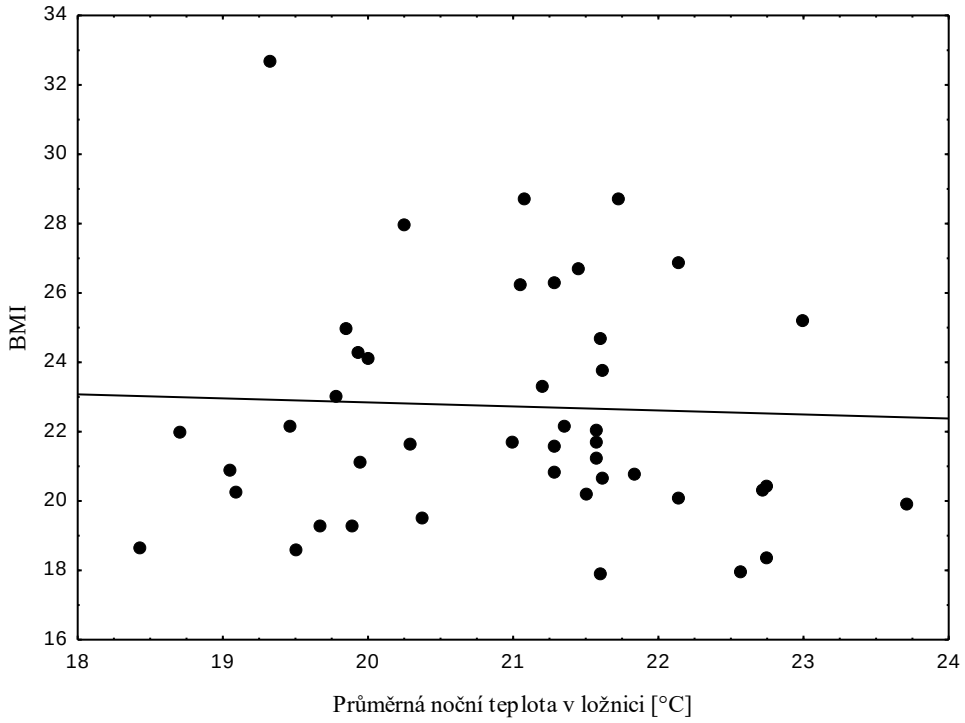
U skupiny 26 chlapců ve věku 11 – 18 let byla zjištěna slabá nepřímá korelace mezi BMI a průměrnou noční teplotou v ložnici (r = -0,04), resp. s rostoucí teplotou klesá míra BMI. Závislost mezi proměnnými není průkazná (p = 0,64).



Obr. 21. Závislost BMI na frekvenci subjektivního vnímání chladu u chlapců ve věku 11 – 18 let. Korelace není signifikantní (p = 0,89). Velikost značky odpovídá počtu případů.

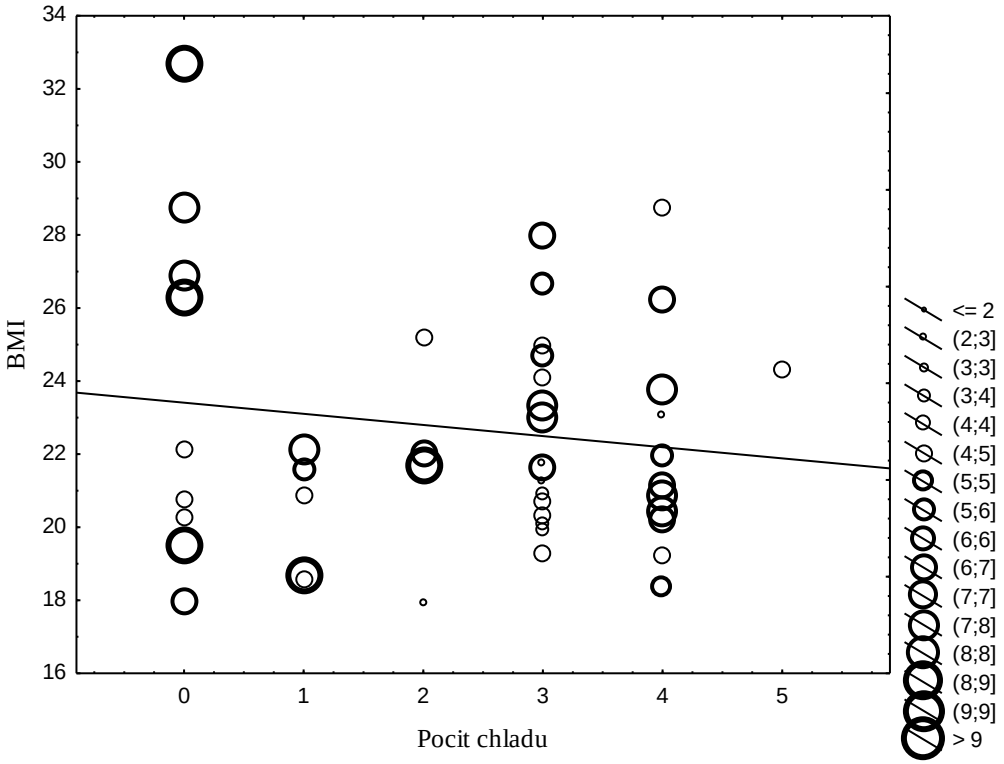
Velice slabý byl i vztah mezi BMI a frekvencí subjektivního vnímání chladu u chlapců ve věkovém rozmezí 11 – 18 let (r = -0,02). Vztah mezi proměnnými je neprůkazný (p = 0,89).

Ženy 19 – 27 let



Obr. 22. Závislost BMI na průměrné noční teplotě v ložnici [°C] u žen ve věkovém rozmezí 19 – 27 let není statisticky průkazná (p = 0,49).

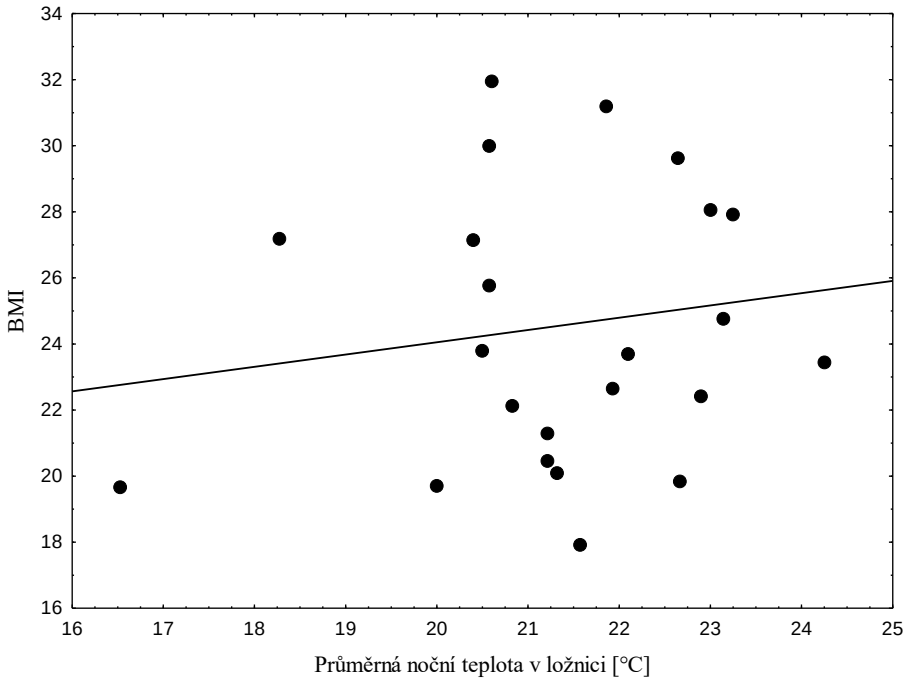
V této skupině bylo hodnoceno 46 žen. Na základě výsledků lineární regrese byla zjištěna nepřímá úměra mezi BMI a průměrnou teplotou v ložnici během noci (r = -0,04). Závislost mezi proměnnými není statisticky významná (p = 0,49).



Obr. 23. Závislost BMI na frekvenci subjektivního vnímání chladu u žen ve věku 19 – 27 let. S častějším pocitem chladu BMI průkazně klesá ($r = -0,14$; $p = 0,02$). Velikost značky odpovídá počtu případů.

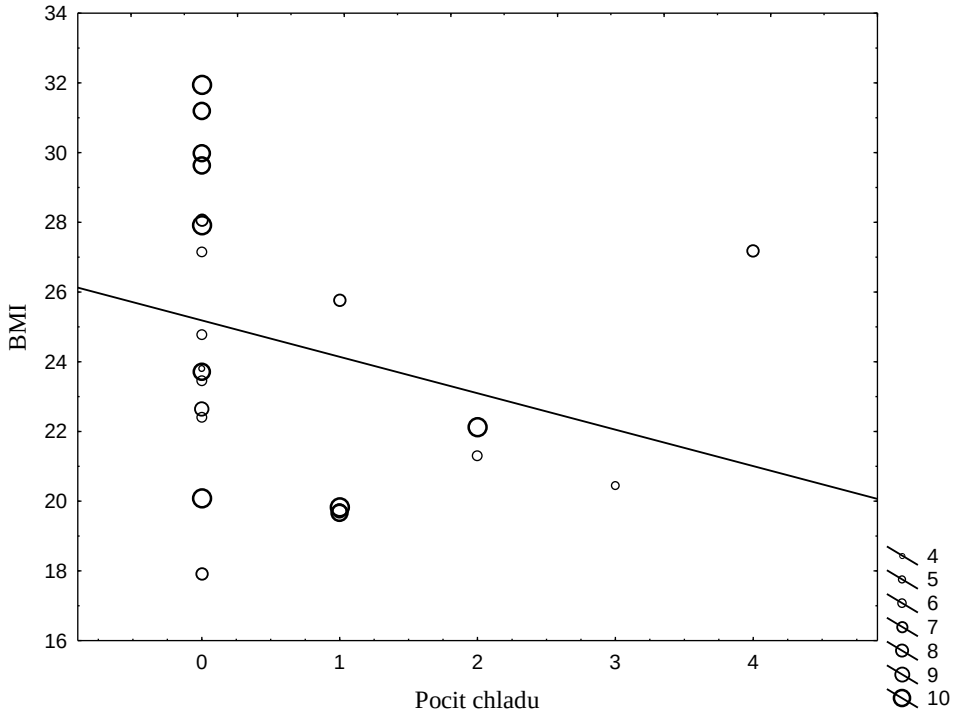
Výsledky lineární regrese poukazují na statisticky významnou závislost mezi BMI a frekvencí subjektivního vnímáním chladu u dotazovaných žen ($p = 0,02$). Subjektivní pocit chladu vysvětlil 1,9 % variability BMI měřeného vzorku žen starších 18 let ($R^2 = 0,019$).

Muži 19 – 26 let



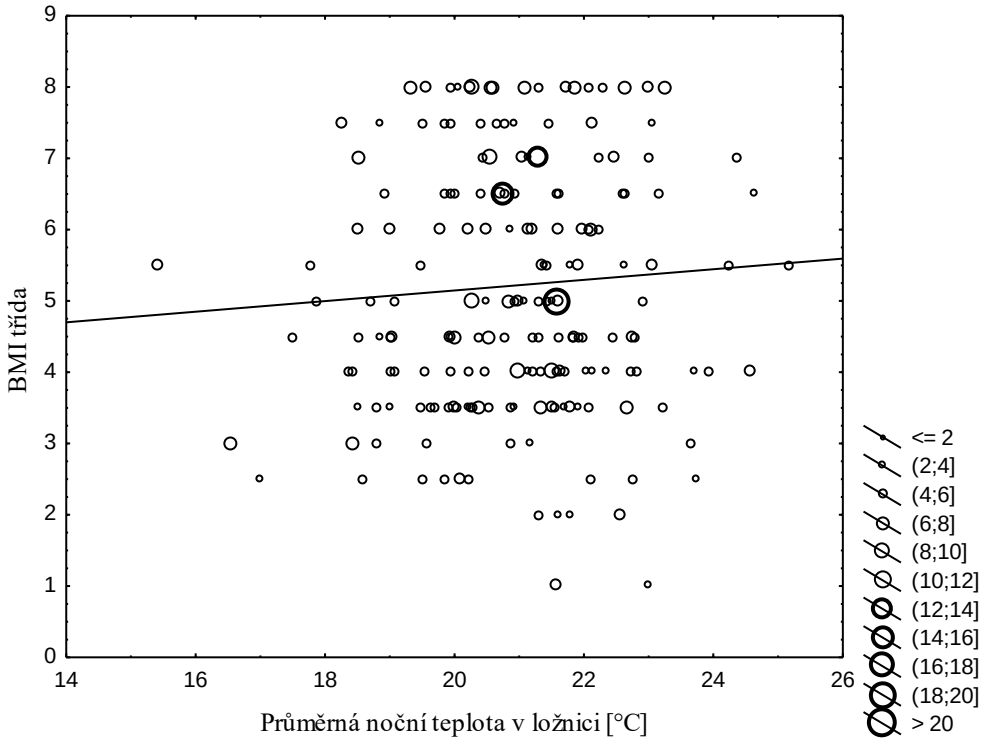
Obr. 24. Závislost BMI na průměrné noční teplotě v ložnici [°C] u mužů ve věku 19 – 26 let je marginálně statisticky průkazná (p = 0,05).

Z dat skupiny 23 mužů starších 18 let lze sledovat pozitivní korelaci BMI a průměrné noční teploty v ložnici (r = 0,15). Vztah mezi oběma proměnnými je marginálně statisticky významný (p = 0,05; BMI = 16,62 + 0,37×t). Průměrná teplota v ložnici během noci vysvětlila 2,2 % variability BMI měřeného vzorku mužů starších 18 let (R^2 = 0,022).



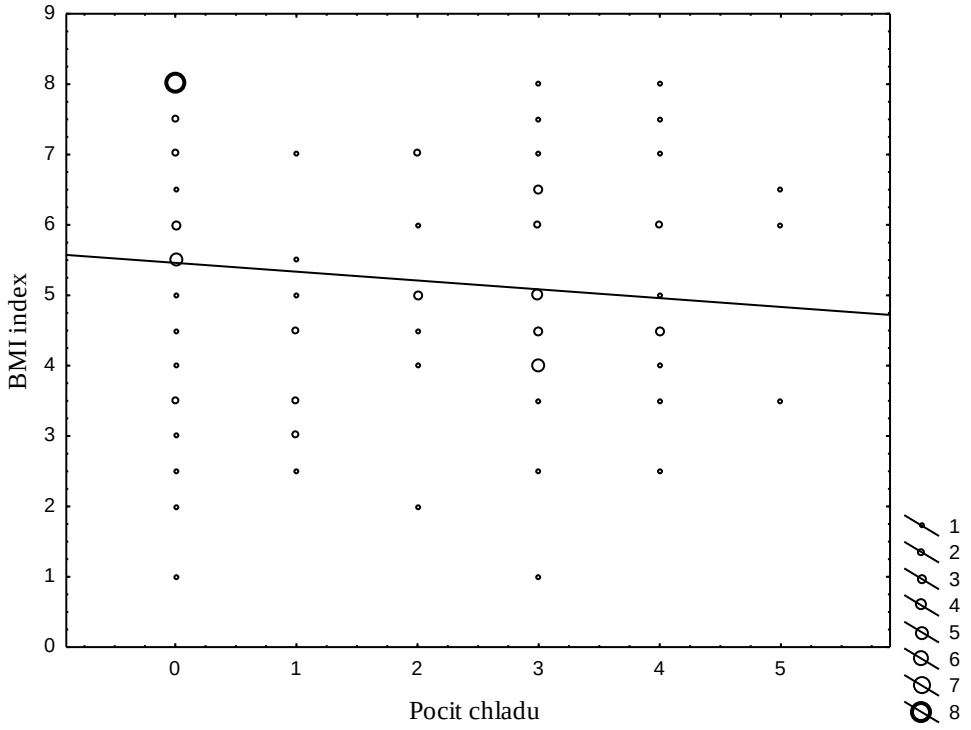
Obr. 25. Závislost BMI na frekvenci subjektivního vnímání chladu u mužů ve věku 19 – 26 let. Korelace je statisticky významná ($p < 10^{-3}$). Velikost značky odpovídá počtu případů.

Vztah mezi BMI a frekvencí subjektivního vnímání chladu u dotazovaných mužů je negativně korelovaný (r =-0,26). Závislost mezi proměnnými je statisticky významná ($p < 10^{-3}$) a subjektivní vnímání chladu vysvětlilo 6,5 % variability BMI měřeného vzorku (R^2 = 0, 065).



Obr. 26. Závislost BMI třídy na průměrné noční teplotě v ložnici [°C] u všech 202 respondentů. Korelace je statisticky průkazná (p = 0,02). Velikost značky odpovídá počtu případů.

Nahrazení hodnoty BMI kategorií BMI (BMI třídou) umožní sloučení skupin různého věku a pohlaví, protože BMI třída odpovídá percentilové kategorii daného jedince v rámci skupiny stejného věku a pohlaví. Za analýzy závislosti BMI třídy na průměrné noční teplotě v ložnici vyplývá slabá pozitivní korelace mezi oběma proměnnými (r = 0,07). Závislost mezi BMI třídou všech respondentů a jejich průměrnou teplotou v ložnici je statisticky významná (p = 0,02). Průměrná teplota v ložnici během noci vysvětlila 0,5 % variability BMI třídy měřeného vzorku (R^2 = 0,005).



Obr. 27. Závislost BMI třídy na frekvenci subjektivního vnímání chladu u 87 respondentů, kteří odpovídali na frekvenci subjektivního vnímání chladu. Korelace je statisticky průkazná ($p < 10^{-3}$). Velikost značky odpovídá počtu případů.

Na frekvenci subjektivního vnímání chladu odpovídalo celkem 87 respondentů (29 mužů a 58 žen). Z lineární regrese lze konstatovat negativní korelaci mezi BMI třídou a frekvencí subjektivního pocitu chladu ($r = -0,15$). Korelace je statisticky průkazná ($p < 10^{-3}$). Subjektivní pocit chladu vysvětlil 2,2% variability BMI indexu měřeného vzorku respondentů ($R^2 = 0,022$). Vysoce průkazná je i neparametrická Spearmanova korelace mezi těmito proměnnými ($R = -0,19$; $p < 10^{-5}$).

Tab. 8. Shrnující výsledky regresních analýz v rámci všech věkových skupin. Tučně jsou vyznačeny statisticky průkazné korelace (resp. regrese), podbarvením skupiny analyzovaných proměnných.

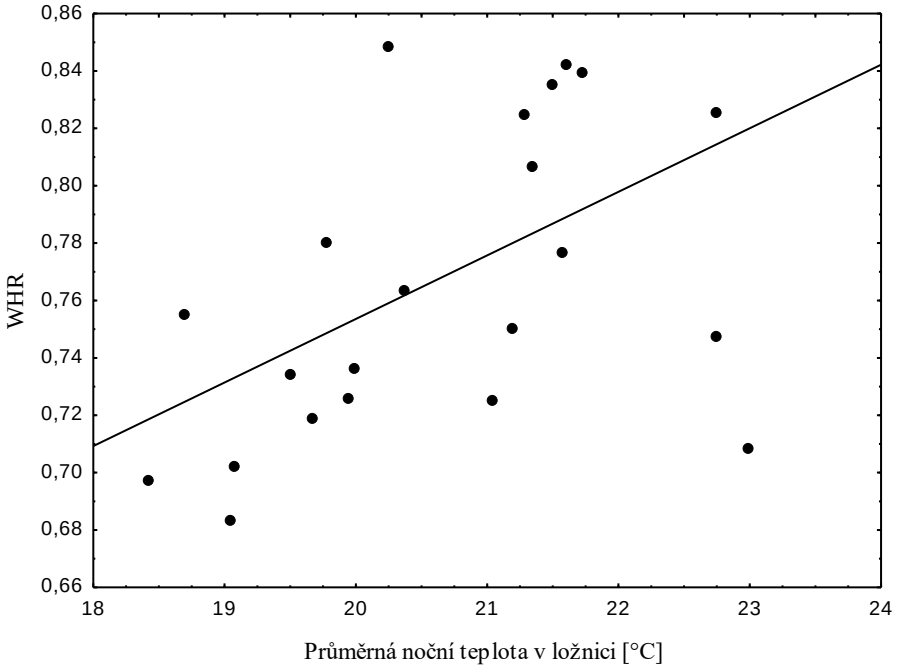
Věk a pohlaví (N)	**Proměnné**	**p**	**r**	**R^2**	**Regresní rovnice**
Dívky 3 – 10 let (35)	BMI vs. teplota	0,06	-0,14	0,02	BMI = 20,24 – 0,18 × t
Dívky 11 – 18 let (30)	**BMI vs. teplota**	**$<10^{-3}$**	**0,27**	**0,07**	**BMI = 9,65 + 0,5 × t**
Ženy 19 – 27 let (46)	BMI vs. teplota	0,49	-0,04	0,002	BMI = 25,17 – 0,12 × t
Chlapci 3 – 10 let (42)	BMI vs. teplota	0,09	0,12	0,014	BMI = 10,51 + 0,32 × t
Chlapci 11 – 18 let (26)	BMI vs. teplota	0,64	-0,04	0,002	BMI = 21,89 – 0,09 × t
Muži 18 – 26 let (23)	**BMI vs. teplota**	**0,05**	**0,15**	**0,002**	**BMI = 16,62 + 0,37 × t**
Dívky 11 – 18 let (30)	**BMI vs. pocit chladu**	**0,02**	**-0,29**	**0,087**	**BMI = 22,88 – 0,50 × c**
Ženy 19 – 27 let (46)	**BMI vs. pocit chladu**	**0,02**	**-0,14**	**0,019**	**BMI = 23,41 – 0,30 × c**
Chlapci 11 – 18 let (26)	BMI vs. pocit chladu	0,89	-0,02	0,001	BMI = 21,90 – 0,03 × c
Muži 19 – 26 let (23)	**BMI vs. pocit chladu**	**$<10^{-3}$**	**-0,26**	**0,065**	**BMI = 25,19 – 1,05 × c**
Obě pohlaví 3 – 27 let (202)	**BMI třída vs. teplota**	**0,02**	**0,07**	**0,005**	**BMI třída = 3,66 + 0,07 × t**
Obě pohlaví 18 – 27 let (87)	**BMI třída vs. pocit chladu**	**$<10^{-3}$**	**-0,15**	**0,022**	**BMI třída = 5,61 – 0,17 × c**

Teplota (t) = průměrná noční teplota v ložnici; pocit chladu (c) = frekvence subjektivního pocitu chladu

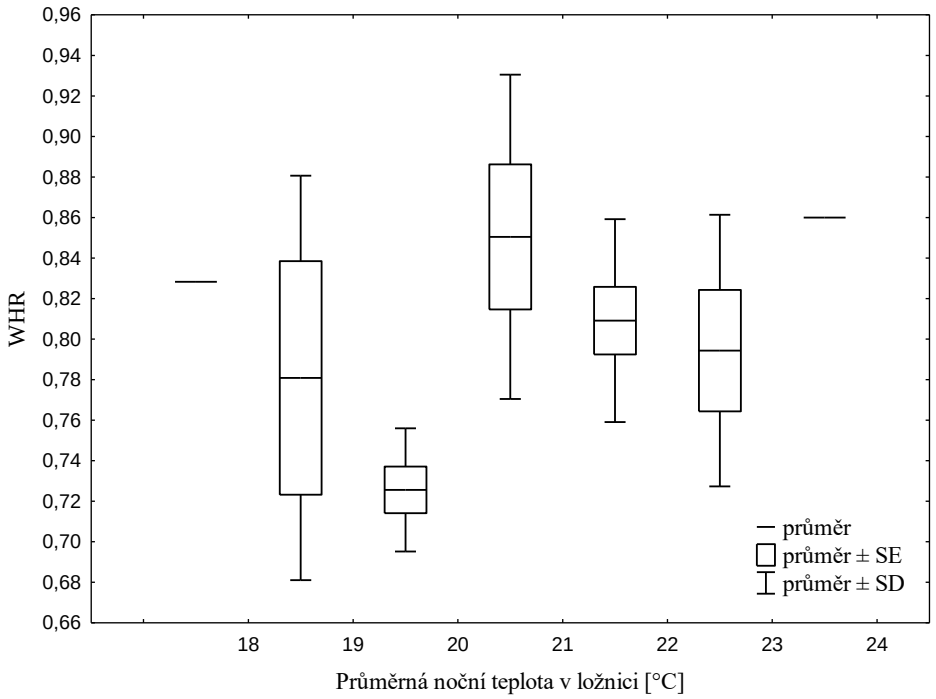
Vztah mezi WHR a průměrnou noční teplotou v ložnici

U skupiny 24 studentek PF JU, kterým byl změřen odvod pasu a boků ke zjištění případného vztahu mezi průměrnou pokojovou teplotou v ložnici během noci a WHR, byla zjištěna poměrně silná korelace mezi oběma proměnnými (r = 0,54) (obr. 28). Lze konstatovat, že závislost mezi průměrnou noční teplotou v ložnici a WHR je průkazná ($p < 10^{-4}$)

a průměrná teplota v ložnici během noci vysvětlila 29 % variability WHR měřeného vzorku studentek (R^2 = 0,29). Nejnižší hodnoty WHR (průměr 0,73) měly ženy s průměrnou teplotou v ložnici mezi 19 a 20 °C (obr. 29).



Obr. 28. Závislost WHR na průměrné noční teplotě v ložnici [°C] u studentek PF JU. Korelace je vysoce signifikantní ($p < 10^{-4}$), WHR = 0,31 + 0,02 × t.



Obr. 29. Porovnání průměru, střední chyby (SE) a směrodatné odchylky (SD) WHR studentek PF JU v třídách průměrné noční teploty v ložnici (hranice tříd po 1°C).

6 DISKUZE

6.1 Relevance získaných dat

Použitelnost BMI jako ukazatele tělesného tuku

V lednu 2016 se výzkumu jako první v pořadí zúčastnila skupina 33 studentů PF JU, u kterých kromě základních charakteristik byla zaznamenána i podrobnější data. Měření tělesných charakteristik potvrdilo rozdílnou závislost tělesného složení na pohlaví, proto byly analýzy provedeny zvlášť u mužů a u žen (viz obr. 11). U obou skupin, 24 žen a 9 mužů, grafy poukazují na korelaci mezi podílem tělesného tuku a BMI, WSR i obvodem pasu. Korelační koeficient r = 0,86 mezi podílem tělesného tuku a BMI mužů i žen je nejvyšší ze zjištěných koeficientů a mírně převyšuje obdobný korelační koeficient, udávaný Flegalem a kol. (2009): 0,79, resp. 0,84 u mužů a žen nebo Suchánkem a kol. (2012): 0,78 u žen. Minimálně u této věkové skupiny lze tedy BMI považovat za postačující ukazatel podílu tělesného tuku, resp. míry obezity. Stejně podrobný předvýzkum nemohl být z organizačních důvodů proveden i u mladších subjektů. Protože však BMI může být užíván jako obecný ukazatel tělesného tuku i u dětí a adolescentů (Dietz & Bellizi, 1999), bylo BMI v celém výzkumu považováno za relativní (vzhledem k věku a pohlaví) ukazatel tělesného tuku, resp. obezity.

Věrohodnost zaznamenávaných teplot

Ze stejné skupiny respondentů pochází i vztah skutečných a reportovaných teplot v ložnici. Ačkoli byly zjištěné odchylky až 2°C, většinou teploty zaznamenané do dotazníku těm skutečným víceméně odpovídaly. Odchylky byly víceméně vyrovnané do vyšších i nižších hodnot, udávané teploty tak nebyly systematicky nadhodnocovány nebo podhodnocovány a v celé studii jsou považovány za relevantní.

6.2 Vztah mezi BMI (BMI třídou) a průměrnou noční teplotou v ložnici

Dohromady se šetření zúčastnilo 202 respondentů, 111 žen a 91 mužů, rozdělených do různých věkových skupin: a) 3 – 10 let; b) 11 – 18 let; c) 19 – 27 let. Po rozdělení respon-

dentů podle pohlaví a věku do skupin byla následně využita regresní analýza s průměrnou noční teplotou v ložnici jako vysvětlující proměnnou a BMI jako proměnnou vysvětlovanou. Z výsledků u dětí obou pohlaví ve věku 3 – 11 let nebyla zjištěna významná korelace mezi těmito proměnnými, celkově slabá korelace měla dokonce různý průběh u chlapců (r pozitivní) a dívek (r negativní). Ačkoli u malých dětí by BAT měla mít nejvýznamnější vliv (Heaten, 1972; Pfannenberg a kol., 2010), v této studii se žádný vliv neprokázal. To může být způsobeno tím, že a) teplota v ložnici, resp. aktivita BAT nemá žádný vliv na BMI malých dětí, protože BAT je aktivní u všech dětí nezávisle na teplotě při spánku a rozhodující vliv na BMI tak mají jiné faktory; b) rozdělení podle věku (3 – 10 let) použito v této studii je příliš hrubé a případný malý vliv teplot v ložnici je zastřen variabilitou BMI danou variabilitou věku; nebo c) rodiče, zaznamenávající teploty v ložnicích svých dětí vědomě či podvědomě zkreslili data tak, aby zakryli případné příliš nízké nebo i vysoké teploty v ložnicích svých dětí. Vzhledem k tomu, že variabilita teplot v ložnici těchto malých dětí je podobná jako variabilita teplot jiných věkových skupin, lze považovat vysvětlení c) za málo pravděpodobné. Pro rozhodnutí mezi vysvětleními a) a b) by bylo nutné provést výzkum více zaměřený na malé děti s větším počtem respondentů a užitím jemnějšího rozdělení dle věku. Pro vysvětlení b) hovoří i výsledky McCarthyho a kol. (2006), které ukazují značnou proměnlivost tělesného tuku mezi 5. a 10. rokem u chlapců i dívek.

U skupiny dívek ve věku 11 – 18 let byla zjištěna korelace mezi průměrnou noční teplotou v ložnici a BMI (r = 0,27) a zároveň průkazný vztah mezi proměnnými, tedy s rostoucí průměrnou teplotou v ložnici hodnota BMI stoupá. Průměrná pokojová teplota v ložnici přitom vysvětlila 7 % variability BMI. Naopak u chlapců stejné věkové skupiny nebyla zjištěna významná korelace (r = 0,04) mezi oběma proměnnými. Rozdílné výsledky mohou být vysvětleny dvěma způsoby, a) teplota v ložnici nemá vliv na BMI chlapců, z důvodu snižujícího se množství BAT s rostoucím věkem (Heaton, 1972) a zároveň s méně častou přítomností aktivní BAT u mužů v porovnání s ženami (viz Cypess a kol., 2009); b) znovu příliš hrubé věkové rozdělení (11- 18 let), kdy případný malý vliv teplot v ložnici je zastřen variabilitou BMI danou různým věkem.

Výsledky regresní analýzy dospělých žen (19 – 27 let) a mužů (19 – 26 let) ukazují rozdílný průběh u žen (neexistující závislost) a mužů (pozitivní vztah mezi BMI a teplotou

v ložnici, hraniční statistická průkaznost). Trend je tedy opačný, než u předchozí věkové třídy. Celkový obrázek závislosti BMI na průměrné noční teplotě v ložnici je tedy takový, že v nejmladší věkové třídě (do 10 let) neexistuje souvislost mezi noční teplotou v ložnici a BMI, u dospívajících (11 – 18 let) dívek platí, že nižší noční teplota v ložnici vede k významně nižšímu BMI (podle regresní rovnice vede snížení teploty v ložnici o 1 °C ke snížení BMI o 0,5). Stejně staří chlapci však tuto závislost nevykazují, vztah mezi BMI a teplotou v ložnici je nevýznamný. V dospělé části výzkumného souboru se situace mění – zatímco u žen korelace mizí, u mužů se objevuje marginálně významná závislost, kdy podle regresní rovnice vede snížení teploty v ložnici o 1 °C ke snížení BMI o 0,37. Tyto výsledky by bylo možné vysvětlit tak, že zatímco u malých dětí je BAT všeobecně přítomna a aktivní, s věkem aktivita i množství BAT klesá (Heaten, 1972; Pfannenberg a kol., 2010). Aktivitu BAT však lze vyvolat působením nízkých teplot, přičemž u žen tato schopnost nastává dříve, než u mužů. V pozdějším věku potom souvislost mezi teplotou v ložnici a BMI mizí u žen, u mužů zůstává.

Při použití kohortových percentilových kategorií BMI (BMI tříd) namísto hodnoty BMI bylo možno analyzovat všechny 202 respondentů najednou a zvýšit tak sílu testu. Z výsledků regresní analýzy závislosti BMI třídy na průměrné noční teplotě v ložnici lze konstatovat, že s rostoucí průměrnou noční teplotou v ložnici průkazně roste i BMI třída ($p = 0,02$). Bylo tedy prokázáno, že pokojová teplota během spánku (pravděpodobně prostřednictvím aktivace BAT) obecně souvisí s BMI třídou.

6.3 Vztah mezi BMI a frekvencí pocitu chladu

Jak již bylo zmíněno, naskýtá se možnost, že BAT závisí více na odchylce od termoneutrální zóny než na absolutní teplotě, a proto bylo BMI vyhodnoceno i v závislosti na frekvenci subjektivního vnímání chladu u dívek a chlapců druhé a třetí věkové skupiny. Pouze u skupiny dospívajících chlapců (11 – 18 let) nebyla zjištěna korelace mezi těmito proměnnými. U dospívajících dívek s častějším pocitem chladu BMI významně klesalo ($p = 0,02$). Stejně tak byla zjištěna závislost BMI na frekvenci subjektivního vnímání chladu u obou skupin respondentů starších 18 let, u kterých hodnota BMI také klesala s častějším pocitem chladu. Z výsledků tedy vyplývá, že aktivita hnědé tukové tkáně by

mohla záviset na frekvenci subjektivního vnímání chladu, resp. na odchylce od termoneutrální zóny jednotlivce. Toto dává dobrý smysl – daná absolutní teplota v ložnici může být pro někoho pocitově ideální, pro někoho pocitově nízká. Je pravděpodobné (ačkoli žádné zdroje o aktivaci BAT tuto možnost nezmiňují), že BAT je u dospělých aktivována spíše odchylkou od individuální termoneutrální zóny, než fixní absolutní teplotou.

6.4 Vztah mezi BMI třídou a frekvencí pocitu chladu

Důležitým výsledkem je závislost BMI třídy na frekvenci subjektivního vnímání chladu u 87 respondentů, 58 žen a 29 mužů, kteří na danou otázku individuálně odpovídali. Tato analýza tedy spojuje jak frekvenci od termoneutrální zóny (možná důležitější, než absolutní teplota – viz výše), tak BMI třídu (odstraňující vliv věku a pohlaví). Na základě negativní korelace a statisticky průkazné závislosti mezi proměnnými lze konstatovat, že čím častěji jedinci pociťovali chlad, tím nižší BMI třídou disponovali. Minimálně pro adolescenty a dospělé do 27 let věku tedy platí, že čím častěji doma pociťují chlad či zimu, tím nižší mají relativní BMI (vzhledem k jejich pohlaví a věkové kohortě). Snížení teplot v domácnosti tedy může přispívat k nižší míře obezity v populaci.

6.5 Význam získaných výsledků

Otázkou je míra vlivu pokojových teplot na BMI, resp. BMI třídu. Koeficienty determinace (ukazující podíl variability vysvětlované proměnné (BMI) proměnnou vysvětlovanou) zjištěné v této studii jsou poměrně nízké (rozsah R^2: 0,002 – 0,087). Tyto hodnoty jsou sice na první pohled nízké, ale nikoli překvapivě. To, že nízká míra fyzické aktivita a nevhodné stravovací návyky mají velmi silný vliv na BMI, resp. vznik obezity, je dostatečně známo (viz např. Lahti-Koski a kol. 2002; Patrick a kol. 2004). Téměř 9 % variability BMI dospívajících dívek vysvětlené frekvencí pocitu chladu tak může být – vedle těchto nepochybně hlavních faktorů ovlivňující BMI – dalším významným faktorem.

Základním předpokladem těchto analýz jejich závěrů je to, že BMI skutečně může záviset na pokojové teplotě. Ačkoli je tento předpoklad velice dobře teoreticky (viz literární rešerši) a nyní i empiricky (viz výsledky a diskuze výše) podpořen, zjištěné výsledky a závěry

nedokazují kauzalitu těchto proměnných. Je možné, že jedinci s vyšším BMI dávají přednost vyšším teplotám doma, tedy i v ložnici během spánku. Z dřívějších výzkumů však vyplývá, že zóna tepelného komfortu nezávisí na BMI (Hwang a kol., 2006; Tuomaala a kol., 2013). Obrácená kauzalita je tak nepravděpodobná, ačkoli vyloučena by mohla být jen experimentem s manipulovanou pokojovou teplotou.

Zde zjištěné výsledky doplňují výzkumy Valdése a kol. (2014) a Yang a kol. (2015), kteří ukazují spojitost mezi prevalencí obezity a teplejším klimatem. Vzhledem k tomu, že zde prezentovaná studie byla provedena ve víceméně stejné klimatické oblasti a jednotném časovém úseku a případný vliv klimatu tak byl odfiltrován, je pravděpodobné, že pokojové teploty mají významnější vliv na BMI než venkovní klima a průkazné výsledky zmíněných výzkumů jsou způsobeny skrytou korelací mezi vnitřními a venkovními teplotami.

Velmi důležitým místem celé této studie je sběr informací o tepelné izolaci během spánku (typ nočního oblečení a přikrývky) a její použití jako váhy jednotlivých případů. Přestože vliv tepelné izolace na teplotu těla během spánku je neoddiskutovatelný, zde použité váhy jsou zvoleny subjektivně intuitivně a jednoduše. Jinak definované váhy by možná vedly k jiným výsledkům. Absence zahrnutí vlivu tepelné izolace byla jedním ze slabých míst výzkumu Dalyho (2014), který se zabýval souvislostí mezi pokojovou teplotou a BMI. Ten ve své práci, ve které neuvažuje vliv BAT, zjistil vyšší míru BMI u skupiny obyvatel s nízkou pokojovou teplotou (< 19 °C) než u obyvatel s pokojovou teplotou > 23°C (tedy opačný trend, než ukazují zde prezentované výsledky). Významný výsledek se však ukázal jen v porovnání těchto dvou skupin, obyvatelé s pokojovou teplotou mezi oběma hodnotami neměli BMI významně odlišné od skupiny < 19 °C. V Dalyho (2014) studii však byly teploty změřeny sice přesně, ale avšak v jediném časovém bodě. Naproti tomu průměrná teplota v ložnici ve zde prezentované práci je složená z celkem 14 – 20 jednotlivých teplot (ačkoli udávaných samotnými respondenty). Kromě toho byl průměrný věk participiantů Dalyho (2014) více než 47 let. Protože aktivita BAT s věkem klesá (Yoneshiro a kol., 2011), je možné, že v dané věkové skupině se již BAT neprojevuje a BMI tedy neovlivňuje.

6.6 Vztah mezi WHR a průměrnou noční teplotou v ložnici

Velmi zajímavá je silná závislost mezi WHR a průměrnou noční teplotou studentek PF JU. Protože WHR je – v mezích průměrných hodnot (BMI 20 – 24 kg/m^2) – lepší prediktor ženské atraktivity než BMI (Furnham a kol., 2006), může – v případě kauzálního vztahu (nepotvrzeného tímto výzkumem) – průměrná teplota během spánku mít silný vliv na atraktivitu žen, kdy nejnižší průměrné hodnoty WHR (0,73) měly ženy v rozmezí teplot v ložnici 19 – 20 °C. Nutno však mít na paměti, že rozhodně neplatí úměra „čím nižší WHR, tím vyšší atraktivita". Nejčastěji bývají za nejatraktivnější považovány postavy s WHR přibližně 0,72 – 0,76, resp. 0,7 – 0,8 (Furnham a kol., 2006; Singh & Randall, 2007; Tovée a kol., 1999). Kromě toho je zde použit vzorek velmi malý (N = 24). Výsledek závislosti WHR na teplotě během spánku je tak nutno brát jen jako naznačený tímto výzkumem, pro jeho potvrzení by bylo nutné zkoumaný soubor osob značně rozšířit (a ideálně rozšířit i rozpětí teplot) pro detekci případné (a pravděpodobné) nelineární závislosti.

6.7 Využití zjištěných výsledků

Zjištěné výsledky mohou mít velmi důležité praktické využití. Snížení teplot během spánku by se mohlo stát další z možností, jak bojovat proti obezitě či nadváze. Vedlejším efektem by tak mohlo být i znatelné snížení spotřeby energie v domácnostech, protože vytápění obecně patří k energeticky nejnáročnějším procesům v domácnostech (Xu a kol., 2014). Obzvláště vysoký potenciál má snížení teplot v ČR, kde jsou obecně poměrně vysoké pokojové teploty (E.ON, 2017). Snížení pokojových teplot by tak zde mohlo mít vysoký efekt jak na redukci BMI, tak spotřebované energie.

Značný potenciál k využití získaných výsledků se skýtá ve školní praxi. Informace o souvislosti aktivity BAT, nadváhy a mírné chladové expozici by se žákům měly dostávat prostřednictvím výchovy ke zdraví a přírodopisu, resp. biologie člověka. Tyto skutečnosti by se však mohly stát také součástí environmentální výchovy – snižování pokojové teploty v domácnostech by mělo za důsledek nejen úsporu energií, ale i zvýšení energetického výdeje a redukci hmotnosti obyvatel. Tento argument by mohl k proenvironmentálnímu chování přesvědčit i osoby ekologicky nesmýšlející. Vzhledem k tomu, že dospívající dív-

ky jsou podle výsledků nejsenzitivnější k sníženým pokojovým teplotám, by mohla osvěta na základních školách cílit právě na ně. Zde by mohly pomoci i naznačené výsledky ohledně souvislosti WHR a pokojových teplot. Dívky v základních školách by tak mohly být častěji seznamovány s konceptem WHR jakožto fyzické atraktivity. To by mohlo pomoci odbourat některé poruchy příjmu potravy, kdy se dívky ve snaze o co největší atraktivitu snaží o co nejmenší BMI. Z výzkumů ale vyplývá, že nejatraktivnější postavu mívají ženy a dívky s optimálním (0,7 – 0,8) až nízkým (0,6) WHR, do jisté míry nezávisle na BMI, dle (Singh, 1994; Tovée a kol, 2003).

7 ZÁVĚR

Hlavním cílem výzkumu bylo zjistit možný vztah mezi BMI a vnitřní pokojovou teplotou, resp. ověřit hypotézu, že lidé s nižší pokojovou teplotou v ložnici mají nižší BMI. Výsledky nejsou zcela jednoznačné. Při analýze 202 respondentů (kdy použití percentilových BMI tříd namísto hodnot BMI umožnilo sloučit skupiny různého věku a pohlaví), výsledky hypotézu potvrdily – s rostoucí průměrnou teplotou v ložnici během spánku průkazně rostla i BMI třída respondentů.

Méně jasné jsou však výsledky u různých jednotlivých kategorií. Na základě výsledků regresních analýz lze konstatovat, že u nejmladší věkové třídy (< 10 let) neexistuje závislost mezi BMI a pokojovou teplotou, zatímco u dospívajících dívek (11 – 18 let) s klesající průměrnou teplotou BMI výrazně klesá. U skupiny chlapců stejného věkového rozmezí se závislost nepotvrdila. U dospělých žen (19 – 27 let) korelace mizí, avšak u mužů (19 – 26 let) se míra BMI snižuje s klesající průměrnou noční teplotou v ložnici. Tato zjištění lze vysvětlit tak, že BAT je obecně u malých dětí přítomna v aktivním stavu a její aktivita klesá s věkem. Aktivitu hnědé tukové tkáně lze vyvolat působením nízkých vnitřních teplot, přičemž u žen nastává tato schopnost dříve oproti mužům a zároveň s pozdějším věkem souvislost mezi pokojovou teplotou a BMI u žen mizí, zatímco u mužů zůstává.

Aktivace BAT však nemusí záviset na absolutní okolní teplotě, ale na relativní odchylce od individuálního teplotního komfortu. To podporuje existence závislosti BMI třídy na frekvenci subjektivního vnímání chladu u 87 respondentů (všech, kde frekvence vnímání chladu byla k dispozici). Vyhodnocením individuálních odpovědí adolescentů a dospělých jedinců do 27 let věku se ukázalo, že čím častěji pociťovali chlad/zimu ve svých domovech, tím nižší měli percentilovou třídu BMI. Lepší predikční schopnosti subjektivního pocitu chladu jsou zřetelné i z výsledků jednotlivých věkových skupin (tedy přímo s hodnotami BMI), kde průkazná závislost existuje u dospívajících dívek (11 – 18 let), dospělých žen (19 – 27 let) i dospělých mužů (19 – 26 let). Jedinou skupinou, kde tato závislost není průkazná, jsou dospívající chlapci (11 – 18 let). Na základě těchto výsledků lze konstatovat, pokojová teplota během spánku je další významný faktor ovlivňující energetický výdej, resp. BMI, a že snížení teplot v domácnostech by mohlo vést ke snížení míry obezity populace. Potenciální slabá místa této studie jsou především a) subjektivně nastavené váhy tepelné izolace během spánku; b) nízký počet respondentů v některých věkových třídách

(tímto vynucené hrubé členění dle věku); c) spoléhání se na teploty udávané respondenty (tím pádem snížení přesnosti udávané teploty). Budoucí výzkum na toto téma by se proto mohl zaměřit na odstranění těchto potenciálních slabých míst zde prezentovaného výzkumu.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Hnědá a bílá tuková tkáň…….7

Obr. 2. Lokalizace hnědého tuku u novorozence…….8

Obr. 3. Schéma metabolických procesů v hnědé tukové tkáni při noradrenalinové termogenezi……..…….....10

Obr. 4. Aktivita hnědé tukové tkáně stanovena PET-CT (^{18}F-FDG)…….…..…12

Obr. 5. Korelace mezi prevalencí maximální aktivity BAT (%) a venkovní teplotou (°C)……..……..…13

Obr. 6. FDG-PET snímky celého těla za studených a teplých podmínek. ……..…...14

Obr. 7. Detekce BAT po stimulaci chladovou expozicí, efedrinem a fyziologickým roztokem (kontrola)……...……..16

Obr. 8. Prevalence maximální aktivity BAT (%) v jednotlivých ročních obdobích……...22

Obr. 9. Korelace mezi průměrnou roční teplotou v dané oblasti (MAT) a BMI korejské populace…….……...24

Obr. 10. PCA všech VŠ studentů (N = 33) ukázala souhlasný trend BMI, WSR, WHR i obvodu pasu……..……35

Obr. 11. Projekce jednotlivých případů do souřadnicového systému první a druhé osy dle PCA vytvoří disjunktní množiny mužů (m) a žen (f)……...……36

Obr. 12. PCA VŠ studentů ženského pohlaví (N = 24) ukázala souhlasný trend BMI, WSR, obvodu pasu a podílu tělesného tuku…….37

Obr. 13. PCA VŠ studentů mužského pohlaví (N = 9) ukázala souhlasný trend BMI, WSR, obvodu pasu a podílu tělesného tuku……...……38

Obr. 14. Vzájemný vztah mezi teplotou zaznamenanou do dotazníku a skutečně změřenou teplotou ……40

Obr. 15. Průměrné hodnoty BMI pro jednotlivé věkové kategorie u mužů a žen. Vertikální úsečky označují 10. a 90. percentil……...42

Obr. 16. Závislost BMI u 35 dívek 3 – 10 let na průměrné noční teplotě v ložnici [°C]…43

Obr. 17. Závislost BMI u chlapců 3 – 10 let na průměrné noční teplotě v ložnici [°C]…..44

Obr. 18. Závislost BMI na průměrné noční teplotě v ložnici [°C] u dívek ve věkovém rozmezí 11 – 18 let……...45

Obr. 19. Závislost BMI na frekvenci subjektivního vnímání chladu u dívek ve věkovém rozmezí 11 – 18 let……...46

Obr. 20. Závislost BMI na průměrné noční teplotě v ložnici [°C] u chlapců ve věkovém rozmezí 11 – 18 let……...47

Obr. 21. Závislost BMI na frekvenci subjektivního vnímání chladu u chlapců ve věku 11 – 18 let…….48

Obr. 22. Závislost BMI na průměrné noční teplotě v ložnici [°C] u žen ve věkovém rozmezí 19 – 27 let……49

Obr. 23. Závislost BMI na frekvenci subjektivního vnímání chladu u žen ve věku 19 – 27 let. ……..……50

Obr. 24. Závislost BMI na průměrné noční teplotě v ložnici [°C] u mužů ve věku 19 – 26 let ……....51

Obr. 25. Závislost BMI na frekvenci subjektivního vnímání chladu u mužů ve věku 19 – 26 let……52

Obr. 26. Závislost BMI třídy na průměrné noční teplotě v ložnici [°C] u všech 202 respondentů…….53

Obr. 27. Závislost BMI třídy na frekvenci subjektivního vnímání chladu u 87 respondentů, kteří odpovídali na frekvenci subjektivního vnímání chladu……...54

Obr. 28. Závislost WHR na průměrné noční teplotě v ložnici [°C] u studentek PF JU….56

Obr. 29. Porovnání průměru, střední chyby (SE) a směrodatné odchylky (SD) WHR studentek PF JU v třídách průměrné noční teploty v ložnici (hranice tříd po 1°C)……..57

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Přehled nejdůležitějších hormonů tukové tkáně produkovaných adipocyty……5

Tab. 2. Přehled výzkumů zabývající se přítomností a aktivitou BAT…….18

Tab. 3. Kategorie tepelné izolace během spánku (noční oblečení a typ přikrývky) spolu s přiřazenou váhou……31

Tab. 4A) Charakteristika VŠ studentů, podrobených detailní analýze tělesných parametrů – věková struktura……34

Tab. 4B) Charakteristika VŠ studentů, podrobených detailní analýze tělesných parametrů – hmotnost, výška, BMI……..34

Tab. 5. Korelační analýza tělesných charakteristik VŠ studentů ženského pohlaví ……..37

Tab. 6. Korelační analýza tělesných charakteristik VŠ studentů mužského pohlaví ……..39

Tab. 7A) Charakteristika kompletního základního souboru – věk……..41

Tab. 7B) Charakteristika kompletního základního souboru – hmotnost, výška, BMI……42

Tab. 8. Shrnující výsledky regresních analýz v rámci všech věkových skupin……..55

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1. Dotazník zjišťující obvyklou pokojovou teplotu v domácnosti během topné sezóny

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

BORGA, M., VIRTANEN, K. A., ROMU, T., LEINHARD, O. D., PERSSON, A., NUUTILA, P. & ENERBÄCK, S. (2014). Brown adipose tissue in humans: detection and functional analysis using PET (Positron Emission Tomography), MRI (Magnetic Resonance Imaging), and DECT (Dual Energy Computed Tomography). *Methods in Enzymology*, 537, 141-159.

CANNON, B. & NEDERGAARD, J. (2004). Brown adipose tissue: Funkcion and Psysiological Significance. *Physiological Review*, 84, 277-359.

CYPESS, A. M., LEHMAN, S., WILLIAMS, G., TAL, I., RODMAN, D., GOLDFINE, A. B., KUO, F. C., PALMER, E. L., TSENG, Y-H., DORIA, A., KOLODNY, G. M. & KAHN, C. R. (2009). Identification and Importance of Brown Adipose Tissue in Adult Humans. *The Journal of Medicine*, 360, 1509-1517.

CYPESS, M. A., CHEN, Y-CH., SZE, C., WANG, K., ENGLISH, J., CHAN, O., HOLMAN, R. A., TAL, I., PALMER, R. M., KOLODNY, M. & KAHN, C. R. (2012). Cold but not sympathomimetics activates human brown adipose tissue in vivo. *PNAS*, 109, 10001-10005.

DALY, Michael. (2014). Association of ambient indoor temperature with body mass index in England. *Obesity*, 22, 626-629.

DIETZ, W. H. & BELLIZZ, M. C. (1999). Introduction: the use of body mass index to assess obesity in children. *The American journal of clinical nutrition*, 70, 123-125.

E.ON (2017): Bedroom temperatures: hot nights in Turkey, cool nights in Germany [přístup 7-4-2017]. Dostupné na http://www.eon.com/en/media/news/press-releases/2017/1/31/bedroom-temperatures-hot-nights-in-turkey-cool-nights-in-germany.html.

FARMER, S. (2009). Obesity: Be cool, lose weight. *Nature*, 458, 839-840.

FLEGAL, K. M., SHEPHERD, J. A., LOOKER, A. C., GRAUBARD, B. I., BORRUD, L. G., OGDEN, C. L., HARRIS, T. B., EVERHART, J. E. & SCHENKER, N. (2009). Comparisons of percentage body fat, body mass index, waist circumfe-

rence, and waist-stature ratio in adults. *The American journal of clinical nutrition*, 89, 500-508.

FURNHAM, A., SWAMI, V. & SHAH, K. (2006). Body weight, waist-to-hip ratio and breast size correlates of ratings of attractiveness and health. *Personality and Individual Differences*, 41, 443-454.

GANONG, W. (2005). *Přehled lékařské fyziologie: dvacáté vydání*. Praha: Galén, ISBN 80-7262-311-7.

GARIANI, K., GARIANI, J., AMZALAG, G., DELATTRE, B., RATIB, O. & GARIBOTTO, V. (2015). Hybrid PET/MRI as a tool to detect brown adipose tissue: Proof of principle. *Obesity Research & Clinical Practice*, 1-5.

HEATON, J. (1972). The distribution of brown adipose tissue in the human. *Journal of Anatomy*, 112, 35-39.

HIBI, M., MATSUSHITA, M., YONESHIRO, T., YAMAGUCHI, T., USUI, C., YASUNAGA, K., KATSURAGI, Y., KUBOTA, K., TANAKA, S. & SAITO, M. (2016). Brown adipose tissue is involved in diet-induced thermogenesis and whole-body fat utilization in healthy humans. *International Journal of Obesity*, 40, 1655-1661.

HÖPPE, P. & MARTINAC, I. (1998). Indoor climate and air quality: Review of current and future topics in the field of ISB study group 10. *International Journal of Biometeorology*, 42, 1-7.

HUMPHREYS, M. A. & HANCOCK, M. (2007). Do people like to feel ´neutral´? Exploring the variation of the desired thermal sensation on the ASHRAE scale. *Energy and Buildings*, 39, 867-874.

HWANG, R. L., LIN, T. P. & KUO, N. J. (2006). Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan. *Energy and Buildings*, 38, 53-62.

CHEN, K. Y., BRYCHTA, R. J., LINDERMAN, J. D., SMITH, S., COURVILLE, A., DIECKMANN, W., HERSCOVITCH, P., MILLO, C. M., REMALEY, A., LEE, P. & CELI, F. S. (2013). Brown fat activation mediates cold-induced thermogenesis in adult humans in response to a mild decrease in ambient temperature. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 98, 1218-1223.

ISO 7730 (2005): Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. International Standards Organisation, Geneva.

ISO 9920 (2007): Ergonomics of the thermal environment – Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble. International Standards Organisation, Geneva.

JANDOVÁ, D. (2009). *Balneologie*. Praha: Grada, ISBN 978-80-247-2820-9.

JANSKÝ, L. (1994). Netřesová termogeneze: Jak teplokrevní živočichové vystavení chladu zvyšují produkci tepla v těle. *Vesmír*, 73, 628.

JOHNSON, F., MAVROGIANNI, A., UCCI, M., VIDAL-PUIG, A. & WARDLE, J. (2011). Could increased time spent in a thermal comfort zone contribute to population increases in obesity? *Obesity Reviews*, 12, 543-551.

KITTNAR, O. & MLČEK, M. (2009). *Atlas fyziologických regulace*. Praha: Grada, ISBN 978-80-247-2722-6.

KITTNAR, O. a kol. (2011). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada, ISBN 978-80-247-3068-4.

LAHTI-KOSKI, M., PIETINEN, P., HELIÖVAARA, M. & VARTIAINEN, E. (2002). Associations of body mass index and obesity with physical activity, food choices, alcohol intake, and smoking in the 1982–1997 FINRISK Studies. *The American journal of clinical nutrition*, 75, 809-817.

LÜLLMANN-RAUCH, R. (2012). *Histologie*. Praha: Grada, ISBN 978-80-247-3729-4.

MCCARTHY, H. D., COLE, T. J., FRY, T., JEBB, S. A. & Prentice, A. M. (2006). Body fat reference curves for children. *International journal of obesity*, 30, 598-602.

MESCHER, A. (2015). *Junqueira's Basic Histology: Text and Atlas*. 14e. McGraw-Hill Education, ISBN 978-0-07-184270-9.

MOUREK, J. (2005). *Fyziologie: Učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada, ISBN 80-247-1190-7.

NGUYEN, J. L., SCHWARTZ, J. & DOCKERY, D.W. (2014). The relationship between indoor and outdoor temperature, apparent temperature, relative humidity, and absolute humidity. *Indoor Air*, 24, 103-112.

OBREGON, M-J. (2014). Adipose tissues and thyroid hormones. *Frontiers in Physiology*, 5, 479.

OUELLET, V., LABBÉ, M. S., BLONDI, P. D., PHOENIX, S., GUÉRIN, B., HAMAN, F., TURCOTTE, E. E., RICHARD, D. & CARPENTIER, A. C. (2012). Brown adipose tissue oxidative metabolism contributes to energy expenditure during acute cold exposure in humans. *The Journal of Clinical Investigation*, 122, 545-552.

PASTUCHA, D. (2014). *Tělovýchovné lékařství: vybrané kapitoly*. Praha: Grada, ISBN 978-80-247-4837-5.

PATRICK, K., NORMAN, G. J., CALFAS, K. J., SALLIS, J. F., ZABINSKI, M. F., RUPP, J. & CELLA, J. (2004). Diet, physical activity, and sedentary behaviors as risk factors for overweight in adolescence. *Archives of pediatrics & adolescent medicine*, 158, 385-390.

PERSICHETTI, A., SCIUTO, R., REA, S., BASCIANI, S., LUBRANO, C., MARIANI, S., ULISSE, S., NOFRONI, I., MAINI, L. C. & GNESSI, L. (2013). Prevalence, Mass, and Glucose-Uptake Activity of 18F-FDG-Detected Brown Adipose Tissue in Humans Living in a Temperate Zone of Italy. *PLOS ONE*, 8, 1-8.

PFANNENBERG, CH., WERNER, K. M., RIPKENS, S., STEF, I., DECKERT, A., SCHMADL, M., REIMOLD, M., HÄRING, H-U., CLAUSSEN, D. C. & STEFAN, N. (2010). Impact of age on the relationships of brown adipose tissue with sex and adiposity in humans. *Diabetes*, 59, 1789-1793.

POLÁK, J., KLIMČÁKOVÁ, E., KOVÁČIKOVÁ, M., VÍTKOVÁ, M., BAJZOVÁ, M., HEJNOVÁ, J. & ŠTICH, V. (2006). Endokrinní funkce tukové tkáně v etiopatogenezi inzulinové rezistence. *Interní medicína pro praxi*, 10, 443 – 446.

ROKYTA, R. a kol. (2000). *Fyziologie*. ISV, ISBN 80-85866-45-5.

SAITO, M., OKAMATSU-OGURA, Y., MATSUSHITA, M., WATANABE, K., YONESHIRO, T., NIO-KOBAYASHI, J., IWANAGA, T., MIYAGAWA, M., KAMEYA, T., NAKADA, K., KAWAI, Y. & TSUJISAKI, M. (2009). High incidence of metabolically active brown adipose tissue in healthy adult humans: effects of cold exposure and adiposity. *Diabetes*, 58, 1526-1530.

SEALE, P. (2012). Brown adipose tissue biology and therapeutic potential. *Frontiers Research Topics: Biology and therapeutic potential of brown adipose tissue*, ISSN 1664-8714.

SHAO X., SHAO X., WANG, Y. & WANG, Y. (2016). Characterization of brown adipose tissue 18F-FDG uptake in PET/CT imaging and its influencing factors in the Chinese population. *Nuclear Medicine and Biology*, 43, 7-11.

SIKOROVÁ, L. (2011). *Potřeby dítěte v ošetřovatelském procesu*. Praha: Grada, Sestra (Grada), ISBN 978-80-247-3593-1.

SILBERNAGL, S. & DESPOPOULOS, A. (1993). *Atlas fyziologie člověka*. Praha: Grada, ISBN 80-85623-79-X.

SINGH, D. (1994). Is thin really beautiful and good? Relationship between waist-to-hip ratio (WHR) and female attractiveness. *Personality and Individual Differences*, 16, 123-132.

SINGH, D. & RANDALL, P. K. (2007). Beauty is in the eye of the plastic surgeon: Waist–hip ratio (WHR) and women's attractiveness. *Personality and Individual Differences*, 43, 329-340.

STRUNECKÁ, A. & JANSKÝ, L. (2006). Hibernace a sezónní afektivní porucha. *Psychia trie*, 10, 1-5.

SUCHANEK, P., KRALOVA LESNA, I., MENGEROVA, O., MRAZKOVA, J., LANSKA, V., & STAVEK, P. (2010). Which index best correlates with body fat mass: BAI, BMI, waist or WHR. *Neuroendocrinology Letters*, 33, 278-282.

SVAČINA, Š. a kol. (2010). *Poruchy metabolismu a výživy*. Praha: Galén, ISBN 978-80-7262-676-2.

TOURULA, M., FUKAZAWA, T., ISOLA, A., HASSI, J., TOCHIHARA, Y. & RINTAMÄKI, H. (2011). Evaluation of the thermal insulation of clothing of infants sleeping outdoors in Northern winter. *European journal of applied physiology*, 111, 633-640.

TOVÉE, M. J., BENSON, P. J., EMERY, J. L., MASON, S. M., & COHEN-TOVÉE, E. M. (2003). Measurement of body size and shape perception in eating-disordered and control observers using body-shape software. *British Journal of Psychology*, 94, 501-516.

TOVÉE, M. J., MAISEY, D. S., EMERY, J. L., & CORNELISSEN, P. L. (1999). Visual cues to female physical attractiveness. Proceedings of the Royal Society of London B: *Biological Sciences*, 266, 211-218.

TROJAN, S. a kol. (1994). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada, ISBN 80-7169-036-8.

TUOMAALA, P., HOLOPAINEN, R., PIIRA, K., & AIRAKSINEN, M. (2013). Impact of individual characteristics such as age, gender, BMI and fitness on human thermal sensation. *Proceedings of Building Simulations,* 2305-2311.

VALDÉS, S., MALDONADO-ARAQUE, C., GARCÍA-TORRES, F., BOSCH-COMAS, A., BORDIÚ, E., CALLE-PASCUAL, A., CARMENA, R., CASAMITJANA, R., CASTANO, L., CASTELL, C., CATALÁ, M., DELGADO, E., FRANCH, J., GAZTAMBIDE, S., GIRBÉZ, J., GOMIS, R., GUTIÉRREZ, G., LÓPEZ-ALBA, A., MARTÍNEZ-LARRAD, M., MENÉNDEZ, E., MORA-PECES, I., ORTEGA, E., PASCUAL-MANICH, G., SERRANO-RIOS, M., URRUTIA, I., ANTONIO VÁZQUES, J., VENDRELL, J., SORIGUER, F. & ROJO-MARTÍNEZ, G. (2014). Ambient temperature and prevalence of obesity in the Spanish population: The Di@bet.es study. *Obesity*, 22, 2328-2332.

VAN DER LANS, A. A., HOEKS, J., BRANS, B., VIJGEN, G., VISSER, M., VOSSELMAN, J. M., HANSEN, J., JORGENSEN, A. J., WU, J., MOTTAGHY, M. F., SCHRAUWEN, P. & VAN MARKEN LICHTENBELT, W. D. (2013). Cold acclimation recruits human brown fat and increases nonshivering thermogenesis. *The Journal of Clinical Investigation*, 123, 3395-3403.

VAN MARKEN LICHTENBELT, W. D.,VANHOMMERIG, J. W., SMULDERS, N. M., DROSSAERTS, J., KEMERINK, G. J., BOUVY, N. D., SCHRAUWEN, P. & JAAP TEULE, G. J. (2009). Cold-activated brown adipose tissue in healthy adult men. *New England Journal of Medicine*, 360, 1500-1508.

VIGNEROVÁ, J., RIEDLOVÁ, J., BLÁHA, P., KOBZOVÁ, J., KREJČOVSKÝ, L., BRABEC, M., & HRUŠKOVÁ, M. (2006). 6. Celostátní antropologický výzkum dětí a mládeže 2001. Česká republika. Souhrnné výsledky. Praha: PřF UK, SZÚ, ISBN 80-86561-30-5.

VIRTANEN, K. A., LIDELL, E. M., ORAVA, J., HEGLIND, M., WESTERGREN, R., NIEMI, T., TAITTONEN, M., LAINE, J., SAVISTO, N-J., ENERBÄCK,

S. & NUUTILA, P. (2009). Functional brown adipose tissue in healthy adults. *The New England Journal of Medicine*, 360, 1518-1525.

XU, X., CULLIGAN, P. J., & TAYLOR, J. E. (2014). Energy saving alignment strategy: achieving energy efficiency in urban buildings by matching occupant temperature preferences with a building's indoor thermal environment. *Applied Energy*, 123, 209-219.

YANG, K. H., HAN, K., CHO, J-H., YOON, K-H., CHA, B-Y. & LEE, S-H. (2015). Ambient Temperature and Prevalence of Obesity: A Nationwide Population-Based Study in Korea. *PLOS ONE*, 10, 1-13.

YONESHIRO, T., MATSUSHITA, M., NAKAE, S., KAMEYA, T., SUGIE, H., TANAKA, S. & SAITO, M. (2016). Brown adipose tissue is involved in the seasonal variation of cold-induced thermogenesis in humans. *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 310, 999-1009.

YONESHIRO, T., S. AITA, MATSUSHITA M., OKAMATSU-OGURA Y., KAMEYA T., KAWAI Y., MIYAGAWA M., TSUJISAKI, M. & SAITO, M. (2011). Age-related decrease in cold-activated brown adipose tissue and accumulation of body fat in healthy humans. *Obesity*, 19, 1755-1760.

ZEMAN, V. (2006). *Adaptace na chlad u člověka: možnosti a hranice*. Praha: Galén, ISBN 80-7262-331-1.

PŘÍLOHY

Příloha 1.

Dotazník zjišťující obvyklou pokojovou teplotu v domácnosti během topné sezóny

Dobrý den, jmenuji se Renata Bednaříková a jsem studentka Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Chtěla bych Vás poprosit o vyplnění otevřených/uzavřených otázek a tabulky, do které budete po dobu 7 dní zapisovat požadované údaje. Dotazník mi pomůže zjistit důležité informace, které následně využiji ve své diplomové práci.

Získané údaje budou anonymizovány a budou sloužit výhradně ke studijním a vědeckým účelům. Prosím Vás o co největší upřímnost při jeho vyplňování - jedná se o vědecký výzkum, ve kterém mají pravdivé odpovědi významnou hodnotu.

Děkuji Vám za Váš čas a ochotu.

1. Jméno:
   ……
2. Místo bydliště (obec):
   ……
3. Kolik je Vám let?
   ……
4. Zkuste odhadnout, jaká je během zimního období obvyklá teplota ve Vaší ložnici:
   ……
5. Uveďte, ve kterém z pokojů (“denní místnost“) ve Vašem obydlí trávíte nejvíce času + zkuste odhadnout, jaká je v této místnosti během zimního období obvyklá teplota:
   ……

6. Jaký způsob topení doma využíváte (označte křížkem)?

	Radiátor	Podlahové topení	Kamna apod.	Žádné	Jiné (prosím upřesněte)
Ložnice					
Denní místnost					
Koupelna					

7. Bývá Vám někdy doma zima? Pokud ano, kdy a jak často?

   ……

8. Míváte často studené nohy?

   □ ano □ ne

9. Které z těchto druhů oblečení nejčastěji doma v topném období nosíte jako svrchní kus oděvu?

Horní část těla:	Dolní část těla:	Chodidla:
□ svetr	□ dlouhé kalhoty	□ teplé ponožky
□ mikina	□ krátké kalhoty	□ tenké ponožky
□ triko s dlouhým rukávem	□ spodní prádlo	□ obuv
□ triko s krátkým rukávem		
□ spodní prádlo		

10. Jakým způsobem během noci v ložnici větráte? (při teplotě přibližně kolem 0°C)

□ okno dokořán

□ ventilace

□ mikroventilace

□ zavřeno

11. Pod jakým typem přikrývky spíte?

□ peřina

□ teplá přikrývka

□ lehká přikrývka

□ pouze prostěradlo nebo povlak

12. Jak oblečeni pod touto pokrývkou většinou spíte?

Horní část těla:	Dolní část těla:	Chodidla:
□ pyžamo s dlouhým rukávem	□ dlouhé kalhoty	□ teplé ponožky
□ pyžamo s krátkým rukávem	□ krátké kalhoty	□ tenké ponožky
□ spodní prádlo nebo nic	□ spodní prádlo nebo nic	

13. Otužujete se?

□ sprchuji se jen studenou vodou

□ sprchuji se teplou a poté studenou vodou

□ jiné (prosím upřesnit)

…….

□ nikdy

14. Navštěvujete suchou (finskou) saunu?

- □ pravidelně (alespoň jednou každý měsíc)
- □ občas (několikrát ročně)
- □ zcela výjimečně (1 – 5 ročně)
- □ nikdy

Tabulka slouží k zapisování pokojové teploty po dobu 7 – 10 dní. Pokud máte možnost, umístěte prosím teploměr do ložnice a "denní místnosti" (tedy té, kterou jste uvedli v otázce č. 5). Každé ráno a večer (přibližně ve stejný čas) v tomto týdnu zaznamenejte teplotu, kterou Vám bude teploměr v těchto místnostech ukazovat.

Datum od: do:		Ložnice ráno/večer		Denní místnost ráno/večer	
		teplota [°C]:	čas:	teplota [°C]:	čas:
1. den	ráno				
	večer				
2. den	ráno				
	večer				
3. den	ráno				
	večer				
4. den	ráno				
	večer				
5. den	ráno				
	večer				
6. den	ráno				
	večer				
7. den	ráno				

	večer				
8. den	ráno				
	večer				
9. den	ráno				
	večer				
10. den	ráno				
	večer				