

Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta tělesné kultury

VÝZNAM ANTIOXIDANTŮ VE STRAVĚ: KAROTENOIDY  
Diplomová práce  
(bakalářská)

Autor: Tereza Matoušková  
Tělesná výchova a sport  
Vedoucí práce: PhDr. Iva Klimešová, Ph.D.  
Olomouc 2018

## **Bibliografická identifikace**

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| <b>Jméno a příjmení autora:</b>       | Tereza Matoušková                          |
| <b>Název bakalářské práce:</b>        | Význam antioxidantů ve stravě: karotenoidy |
| <b>Pracoviště:</b>                    | Katedra přírodních věd v kinantropologii   |
| <b>Vedoucí bakalářské práce:</b>      | PhDr. Iva Klimešová, Ph.D.                 |
| <b>Rok obhajoby bakalářské práce:</b> | 2018                                       |

**Abstrakt:** Bakalářská práce se zabývá významem antioxidantů ve stravě s důrazem na karotenoidy. Hlavním cílem zkoumané části je změřit hladinu karotenoidů v lidské kůži a posoudit míru ovlivnění díky stravovacím návykům každého jedince.

Výzkum byl proveden formou anketního šetření a následným měřením hodnot karotenoidů pomocí Biofotonického Scanneru S3 (Pharmanex, Nu Skin Enterprises, Provo, UT, USA). Zkoumání se zúčastnilo celkem 40 osob.

Výsledky práce shrnují jednotlivé okolnosti, které mají či nemají vliv na hodnoty karotenoidů v kůži.

**Klíčová slova:** volné radikály, oxidační stres, antioxidační ochranný systém, vitaminy, karoteny

Souhlasím s půjčováním bakalářské práce v rámci knihovních služeb.

## **Bibliographical identification**

|  |  |
|--|--|
| <b>Author's first name and Suriname:</b> | Tereza Matoušková                                  |
| <b>Title of the bachelor thesis:</b>     | Meaning of an antioxidants in diet: carotenoids    |
| <b>Department:</b>                       | Department of Natural Science in<br>Kinantropology |
| <b>Supervisor:</b>                       | PhDr. Iva Klimešová, Ph.D.                         |
| <b>The year of presentation:</b>         | 2018   |

**Abstract:** The Bachelor's thesis deals with the significance of antioxidants in diet with emphasis on carotenoids. The primary goal of the examined section is to discover factors influencing levels of carotenoids in human skin.

The research has been realized in the form of a survey and subsequent measuring of karotenoid levels with a Biophotonic Scanner S3 (Pharmanex, Nu Skin Enterprises, Provo, UT, USA). The research was taken part in by 40 persons.

The thesis's results sum up individual circumstances which do or do not influence the level of carotenoids in skin.

**Keywords:** free radicals, oxidative stress, antioxidant protection system, vitamins, carotenes

I agree the Bachelor thesis will be lent within the library service.

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci zpracovala samostatně pod vedením PhDr. Ivy Klimešové, Ph.D. a uvedla všechny použité odborné a literární zdroje a dodržovala zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne .....

Děkuji PhDr. Ivě Klimešové, Ph.D, která mi pomohla s informačními zdroji k mé bakalářské práci a také mě naučila pracovat s Biofotonickým Skenerem S3. Dále jí také děkuji za poskytnutí kontaktu na osobu, která mi sdělila podrobnější informace o přístroji a pověděla osobní zkušenosti s jeho používáním.

## OBSAH

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | <b>ÚVOD</b>                               | 8  |
| 2     | <b>PŘEHLED POZNATKŮ</b>                   | 9  |
| 3     | <b>VOLNÉ RADIKÁLY</b>                     | 9  |
| 3.1   | Reaktivní formy kyslíku                   | 10 |
| 3.1.1 | <i>Superoxid</i> $O_2^{\bullet -}$        | 10 |
| 3.1.2 | <i>Peroxid vodíku</i> $H_2O_2$            | 11 |
| 3.1.3 | <i>Hydroxylový radikál</i> $HO^{\bullet}$ | 11 |
| 3.2   | Reaktivní formy dusíku                    | 11 |
| 3.3   | Tvorba volných radikálů                   | 11 |
| 3.4   | Účinky volných radikálů                   | 12 |
| 3.5   | Oxidační stres                            | 12 |
| 3.6   | Poškození biomolekul                      | 13 |
| 3.6.1 | <i>Peroxidace lipidů</i>                  | 14 |
| 3.6.2 | <i>Poškození DNA</i>                      | 14 |
| 3.6.3 | <i>Poškození proteinů</i>                 | 15 |
| 4     | <b>ANTIOXIDAČNÍ OCHRANNÝ SYSTÉM</b>       | 15 |
| 4.1   | Kategorizace                              | 15 |
| 4.2   | Enzymatický ochranný systém               | 17 |
| 4.2.1 | <i>Superoxiddismutáza (SOD)</i>           | 17 |
| 4.2.2 | <i>Kataláza (KAT)</i>                     | 18 |
| 4.2.3 | <i>Glutathionperoxidáza (GSHPx)</i>       | 18 |
| 4.3   | Vysokomolekulární endogenní antioxidanty  | 19 |
| 4.4   | Nízkomolekulární endogenní antioxidanty   | 19 |
| 4.4.1 | <i>Vitamin C (kyselina askorbová)</i>     | 19 |
| 4.4.2 | <i>Vitamin E</i>                          | 21 |
| 4.4.3 | <i>Ubichinon (koenzym Q)</i>              | 23 |
| 4.4.4 | <i>Glutathion</i>                         | 24 |
| 4.4.5 | <i>Kyselina lipoová (lipoát)</i>          | 24 |
| 4.4.6 | <i>Melatonin</i>                          | 24 |
| 4.4.7 | <i>Kyselina močová</i>                    | 25 |
| 5     | <b>FYTOCHEMICKÉ LÁTKY</b>                 | 25 |

|           |                                    |    |
|-----------|------------------------------------|----|
| 5.1       | Karotenoidy                        | 27 |
| 5.1.1     | <i>Vstřebávání karotenoidů</i>     | 27 |
| 5.1.2     | <i>β-karoten</i>                   | 29 |
| 5.1.3     | <i>α-karoten</i>                   | 30 |
| 5.1.4     | <i>Lykopen</i>                     | 30 |
| 5.1.5     | <i>Lutein</i>                      | 30 |
| 5.1.6     | <i>Zeaxantin</i>                   | 31 |
| 5.1.7     | <i>β-kryptoxantin</i>              | 31 |
| <b>6</b>  | <b>HLAVNÍ CÍL</b>                  | 32 |
| 6.1       | Výzkumné otázky                    | 32 |
| <b>7</b>  | <b>METODIKA</b>                    | 33 |
| 7.1       | Charakteristika výzkumného souboru | 33 |
| 7.2       | Sběr dat                           | 34 |
| 7.2.1     | <i>Anketní šetření</i>             | 35 |
| 7.2.2     | <i>Způsob měření</i>               | 35 |
| 7.3       | Způsob statistického zpracování    | 36 |
| <b>8</b>  | <b>VÝSLEDKY</b>                    | 37 |
| <b>9</b>  | <b>DISKUZE</b>                     | 50 |
| 9.1       | Limity práce                       | 50 |
| <b>10</b> | <b>ZÁVĚRY</b>                      | 51 |
| <b>11</b> | <b>SOUHRN</b>                      | 52 |
| <b>12</b> | <b>SUMMARY</b>                     | 53 |
| <b>13</b> | <b>REFERENČNÍ SEZNAM</b>           | 54 |
| <b>14</b> | <b>PŘÍLOHY</b>                     | 61 |

## 1 ÚVOD

Zdraví každého člověka by mělo být na prvním místě v žebříčku potřeb. Z tohoto důvodu se široká veřejnost zajímá o různé druhy konzumovaných potravin. Snaží se, aby nejen jim, ale i jejich potomkům, byl dopřáván přísun kvalitních surovin. Z toho pramení také zájem o konzumaci ovoce a zeleniny bohatých na antioxidanty.

Antioxidantům v potravě se dnes věnuje velká pozornost především díky jejím pozitivním účinkům na organismus. Je všeobecně známo, že účinky antioxidantů eliminují nebo redukuje oxidační stres, který vzniká nadbytkem volných radikálů. Ty jsou sice pro organismus důležité (účastní se důležitých reakcí), avšak jejich účinky mohou mít za vinu vznik nejrůznějších chorob. Právě antioxidanty jsou schopny eliminovat škodlivé účinky volných radikálů a neměly by se tedy podceňovat. Kromě enzymatických antioxidantů, které se nachází v těle, je důležité přijímat i ty neenzymatické (vitaminy, doplňky stravy, karotenoidy atd.). Jedině tak bude docíleno optimální ochrany organismu.

Příjem ovoce a zeleniny, bohatých na antioxidanty, by měl být každodenní. Lidé si sice uvědomují nezastupitelnou roli těchto potravin, avšak množství jejich příjmu je pro ně druhotným zájmem. Pro optimální fungování organismu je nezbytné dodržovat každodenní příjem ovoce a zeleniny v poměru 2:3 (porce).

Přístroj, který dokáže neinvazivně měřit hladinu karotenoidů (silné antioxidanty) v kožní tkáni, se nazývá Biofotonický scanner. Pomocí něj a anketního šetření jsem vypracovala praktickou část práce.



## 2 PŘEHLED POZNATKŮ

První kapitola se věnuje syntézou poznatků o volných radikálech. Uvádím druhy reaktivních forem kyslíku a dusíku, dále vznik volných radikálů a jejich účinky na organismus.

Ve druhé kapitole je popsán antioxidační systém organismu, který disponuje ochrannými mechanismy proti negativnímu působení volných radikálů. Vyskytuje se zde členění antioxidantů, druhy ochranných systémů a účinky jednotlivých druhů antioxidantů.

Další kapitola se zabývá antioxidanty především rostlinného původu. Jsou zde popsány účinky jednotlivých druhů karotenoidů na organismus.

## 3 VOLNÉ RADIKÁLY

Volné radikály jsou vysoko reaktivní atomy a molekuly. Tato vlastnost je způsobena nepárovým elektronem v poslední, tedy valenční vrstvě. Volné radikály se snaží doplnit svůj chybějící elektron a doslova napadají jiné molekuly, které jsou „zdravé“. Ty se však také změní na radikál a reakce se šíří do okolí. Díky tomu vznikají v našem těle řady reaktivních forem kyslíku (ROS) a reaktivních forem dusíku (RNS). Tyto látky jsou schopny rychlé reakce s různými strukturami – aminokyselinami, mastnými kyselinami, proteiny, lipidy a nukleovými kyselinami. Reaktivita některých molekul však nemusí být příliš extrémní. Mezi výjimky se řadí i běžná molekula kyslíku, která je nezbytná pro naše dýchání. Pokud radikál reaguje s jiným radikálem, jejich nepárové elektrony se spojí a vznikne „normální“ molekula. Za určitých okolností mohou volné radikály působit jako toxické látky, jejichž schopnost může mít destruktivní účinky na organismus. Pokud se však volné radikály vyskytují ve fyziologické míře, mají pro náš organismus prospěšný charakter. V Tabulce 1 jsou příklady reaktivních forem kyslíku a dusíku (Hřebíčková, 2009; Štípek et al., 2000).

Tabulka 1. Reaktivní formy ROS a RNS (Štípek et al., 2000)

| Reaktivní formy kyslíku a dusíku    |                                      |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Volné radikály                      | Látky, které nejsou volnými radikály |
| superoxid, $O_2^{\bullet -}$        | peroxid vodíku, $H_2O_2$             |
| hydroxylový radikál, $HO^{\bullet}$ | kyselina chlorná, $HOCl$             |
| oxid dusnatý $NO^{\bullet}$         | ozon, $O_3$                          |
| oxid dusičitý $NO_2^{\bullet}$      | singletový kyslík, $^1O_2$           |

### 3.1 Reaktivní formy kyslíku

- superoxid:  $O_2 + e^- \rightarrow O_2^{\bullet -}$
- peroxid vodíku:  $O_2^{\bullet -} + e^- + 2H^+ \rightarrow H_2O_2$
- hydroxylový radikál:  $H_2O_2 + e^- \rightarrow OH^- + HO^{\bullet}$
- voda:  $HO^{\bullet} + e^- \rightarrow OH^-$  (disociovaná voda)

Výše uvedená redukce molekuly kyslíku na vodu je nezbytnou reakcí při aerobním způsobu života. Probíhá v mitochondriích, pomocí enzymu cytochromoxidázy (enzym dýchacího řetězce) a je schopna přeměnit energii chemických vazeb živin na ATP (adenosintrifosfát), jakožto všeobecnou formu energie pro biochemické děje v organismu. Hydroxylový radikál ( $HO^{\bullet}$ ), který je nejreaktivnější formou kyslíku však není škodlivý ve vazbě s enzymem. Nejjedovatější látkou je volná částice, protože se ve tkáni téměř okamžitě slučuje s jinou molekulou nebo jí odebere elektron a tím ji aktivuje (Štípek et al., 2000).

#### 3.1.1 Superoxid $O_2^{\bullet -}$

Cytochromoxidáza je schopna přeměnit kyslík na dvě molekuly vody pomocí čtyř elektronů a čtyř protonů. Dostane-li však kyslík v těle pouze jeden elektron, vznikne superoxid  $O_2^{\bullet -}$ . Na vznik superoxidu má největší vliv právě dýchací řetězec mitochondrií, dále také fagocyty, které díky enzymu NADPH oxidázy vytváří superoxid za účelem ochrany proti mikrobům. Superoxid se samovolně nebo díky působení superoxididizmutázy mění na peroxid vodíku  $H_2O_2$  (Pláteník, 2009).

### 3.1.2 Peroxid vodíku $H_2O_2$

Samotný peroxid vodíku není radikálem, avšak do ROS se řadí, neboť se podílí na jejich vzniku. Nejrychleji reaguje peroxid vodíku s přechodnými kovy ( $Fe^{2+}$  nebo  $Cu^+$ ). Díky Fentonově reakci ( $H_2O_2 + Fe^{2+} \rightarrow HO^\bullet + OH^- + Fe^{3+}$ ) vzniká velmi toxický hydroxylový radikál  $HO^\bullet$ . (Štípek et al., 2000).

### 3.1.3 Hydroxylový radikál $HO^\bullet$

Je to nejnebezpečnější radikál, který vzniká přidáním jednoho elektronu k  $H_2O_2$  (Müllerová, 2014). V organismu okamžitě reaguje s biomolekulami a jako silné oxidační činidlo dokáže z nenasycených mastných kyselin vytrhávat elektron (Štípek et al., 2000).

## 3.2 Reaktivní formy dusíku

V organismu se nacházejí radikály, jejichž volné elektrony jsou vázány nejen na kyslík, ale i na dusík. Patří mezi ně například oxid dusnatý NO a oxid dusičitý  $NO_2^\bullet$  (Racek, 2003). Oxid dusnatý patří mezi významné signalizační molekuly a podílí se například na relaxaci hladkého svalstva (Štípek et al., 2000).

## 3.3 Tvorba volných radikálů

Volné radikály se mohou dostat do organismu z vnějšího prostředí, velké množství jich však vzniká při každodenních metabolických procesech. Podle toho se rozdělují na exogenní a endogenní zdroje (Racek, 2003).

Exogenní zdroje:

- ionizující záření
- škodliviny ve vzduchu (doprava, tepelné elektrárny, průmysl)
- intoxikace (průmyslová rozpouštědla, léky aj.)
- UV záření, modré světlo (při léčbě nadbytku bilirubinu)
- cigaretový kouř
- potrava (při tepelné úpravě, vlivem světla mohou vznikat volné radikály)

Endogenní zdroje:

- vznik kyseliny močové (při úrazech, pooperačních stavech, nekrózách apod.)

- vznik methemoglobinu
- zvýšený metabolismus estrogenů
- hyperglykémie
- rozpad makrofágů a fagocytů (popáleniny, záněty apod.)
- obnovení krevního průtoku ischemickou tkání

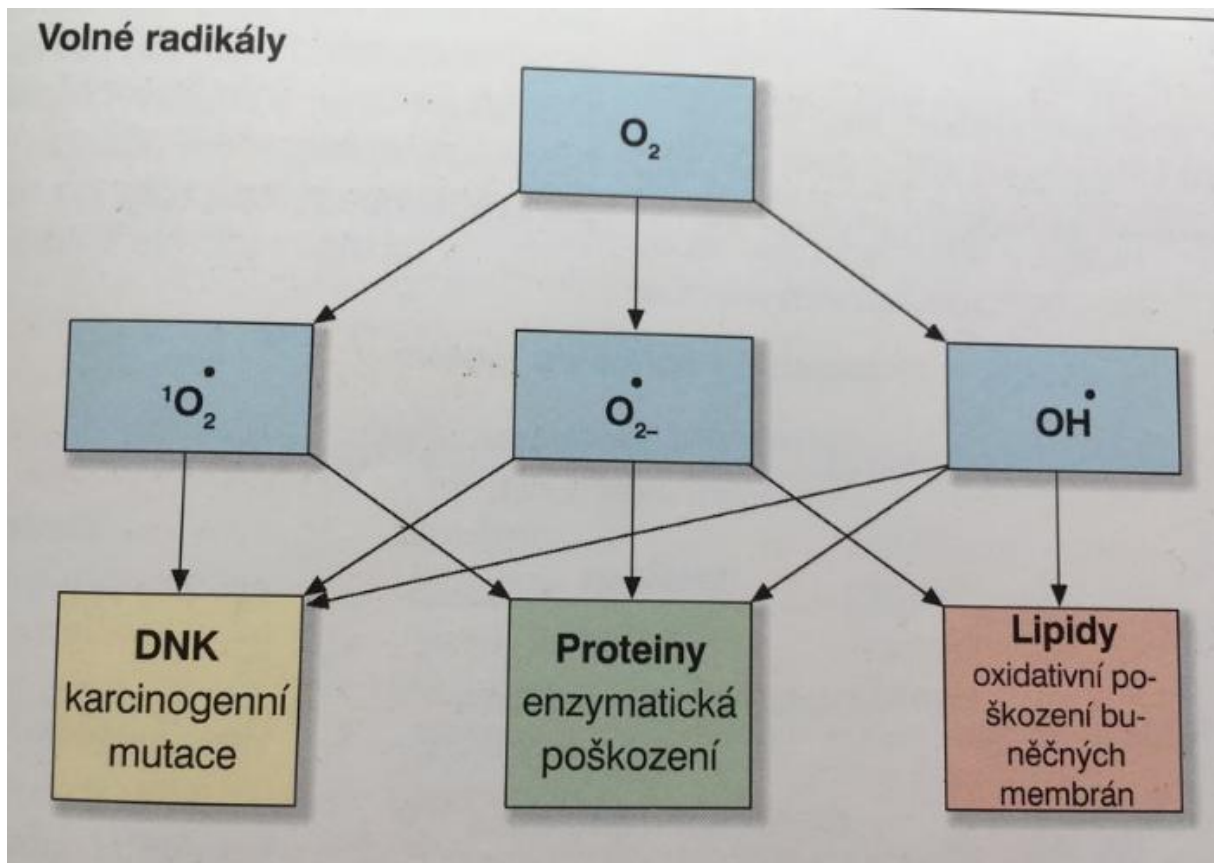
### 3.4 Účinky volných radikálů

Jak již bylo zmíněno, nadbytek volných radikálů je velmi nebezpečný pro žijící organismy a může poškodit hlavní buněčné součásti. Ačkoliv jsou nepostradatelné při biologických funkcích, jejich přítomnost může způsobit buněčné poškození a následnou buněčnou smrt. Mezi pozitiva působení volných radikálů se řadí jejich regulační úloha při buněčných signalizačních procesech (Mandelker, 2009).

### 3.5 Oxidační stres

Je charakteristickým projevem vzestupu hladiny volných radikálů v organismu (Mandelker, 2009). Nadbytečný počet volných radikálů je spojován s různými chorobami (nejčastěji aterosklerózou, nádorovým onemocněním a poruchami imunitního systému) (Hřebíčková, 2009).

Na molekulární úrovni může docházet k oxidačnímu poškození proteinů, lipidů, sacharidů a DNA, což je patrné z Obrázku 1. Při poškození DNA může docházet k chromozomálním zlomům, jejichž následkem je zvýšená možnost výskytu malignity. Další nárůst volných radikálů je pozorován při pooperačních stavech nebo u pacientů trpících psychickým onemocněním, například depresemi (Hřebíčková, 2009).



Obrázek 1. Kyslíkové radikály poškozují oxidací (prostřednictvím „krádeže elektronů“) důležité buněčné struktury, jako jsou buněčné membrány, enzymy a nukleové kyseliny (DNK) (Konopka, 2004, p. 91).

### 3.6 Poškození biomolekul

Volné radikály mohou napadat téměř jakoukoli molekulu organismu a vyvolat tak její oxidační poškození. „Nejzávažnější je poškození fosfolipidů buněčných membrán, vedoucí k poruše životně důležitých membránových dějů či dokonce k zániku buňky, dále poškození nukleových kyselin (mutageneze, karcinogeneze, zánik buňky) a bílkovin (inaktivace enzymů a jiných bílkovin s různým biologickým významem)“ (Racek, 2003, p. 13). Tabulka 2 zobrazuje příklady již vzniklých onemocnění způsobené činností volných radikálů.

Tabulka.2 Onemocnění vyvolaná nebo podporovaná přítomností volných radikálů. Proto jsou nazývána jako radikálová onemocnění („free radical diseases“) (Konopka, 2004, p. 92)

| <b>Onemocnění podporovaná účinkem volných radikálů</b>  |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Arterioskleróza</b> – mozková mrtvice, srdeční infarkt a poruchy krevního oběhu</li><li>• <b>Onemocnění cukrovkou</b> – následné onemocnění nadledvin, očí a nohou</li><li>• <b>Plicní onemocnění</b> – astma, rozedma plic, chronická bronchitida</li><li>• <b>Onemocnění kloubů</b> – degenerativní a revmatické onemocnění kloubů</li><li>• <b>Oční onemocnění</b> – degenerace oční skvrny, šedý zákal</li><li>• <b>Rakovinná onemocnění</b> – špatné životní prostředí a účinky volných radikálů (např.: rakovina žaludku, prostaty, plic, tlustého střeva, prsu atd.)</li><li>• <b>Nemoci stáří</b> – procesy buněčného stárnutí (Alzheimerova a Parkinsonova choroba)</li></ul> |

### 3.6.1 Peroxidace lipidů

Peroxidace lipidů způsobuje oxidační poškození biologických buněk. Obvykle jsou napadány mastné kyseliny, které mají větší počet dvojných vazeb (polynenasycené mastné kyseliny). Naopak mastné kyseliny bez dvojných vazeb (nasycené) nebo maximálně s jednou dvojnou vazbou (mononenasycené) jsou poměrně odolné vůči oxidativnímu poškození volnými radikály (Racek, 2003). Nejlepší ukazatelé lipoperoxidace jsou izoprostany, které vykazují biologický účinek. Například způsobují zúžení průdušek při alergii, zúžení cév a podporují další tvorbu volných radikálů při ischemicko – reperfučním poškození (Jaroslav Racek & Holeček, 1999).

### 3.6.2 Poškození DNA

Stejně jako proteiny a lipidy také DNA je poškozována převážně hydroxylovým radikálem HO<sup>•</sup>. Díky oxidačním modifikacím bází nukleových kyselin se mohou vytvořit vazby DNA s proteiny nebo může dojít k přerušení polynukleotidového řetězce (Rice-Evans & Bruckdorfer, 1992; Wang, Kreutzer & Essigmann, 1998). Poškození DNA má za následek zlom chromozomů, dále také karcinogenní a mutagenní účinky (Racek, 2003).

### 3.6.3 Poškození proteinů

Oxidační poškození proteinů zahrnuje podobné škody jako u lipidů. Tvoří se peroxylové radikály HO<sup>•</sup>, hydroperoxydy a konečná fáze může zahrnovat i tvorbu reaktivních aldehydů z bílkovin a uvolňovat tak další radikály (Racek, 2003).

Modifikace aminokyselin mohou mít za následek vznik nových antigenních determinant a tvorbu autoimunitních reakcí (Štípek et al., 2000).

## 4 ANTIOXIDAČNÍ OCHRANNÝ SYSTÉM

Jelikož je organismus vystaven každodenní tvorbou volných radikálů, dokáže disponovat také obrannými mechanismy (Heinrich, 2015). Proti oxidačnímu stresu bojují antioxidanty, které jsou nezbytným ochranným systémem pro regulaci působení volných radikálů. Od jisté hladiny však antioxidanty mohou mít opačné (prooxidační) působení. Je dobré tedy udržovat stejný poměr mezi antioxidanty a volnými radikály, protože oba extrémy jsou pro organismus škodlivé (Sedláček, & Langmajerová, 2013).

„Poznatky vyplývající z epidemiologických a zejména experimentálních studií ukazují, že nadměrné dávky antioxidantů jsou neúčinné a mohou být škodlivé“ (Sedláček & Langmajerová, 2013, p. 130). Dále bylo zjištěno, že „antioxidační kapacita přijímané stravy nemusí znamenat vysoký efekt pro lidský organismus, protože antioxidanty nemusí být ideálně vstřebávány nebo mohou být organismem rozdílně využity“ (Hřebíčková, 2009, p. 31). Antioxidanty jsou velkou skupinou látek, které mají odlišnou chemickou strukturu a také působení v organismu (Hřebíčková, 2009). Mohou být jak endogenního (tvoří se v organismu), tak exogenního (přijímané s potravou) charakteru (Racek, 2003).

### 4.1 Kategorizace

Antioxidanty lze kategorizovat různými způsoby. Je však velmi těžké najít optimální kritérium pro jejich třídění. Hlediska, podle nichž je možné antioxidanty dělit:

- **Podle ovlivnění vzniku volných radikálů:**

- primární – brání vzniku volných radikálů (inhibitory NADPH-oxidázy, chelatační látky aj.)

- sekundární – likvidují volné radikály, které už vznikly. Jsou to katalyzátory a látky s redukčním účinkem (např.: superoxid-dismutáza)
- terciální – opravují nebo odstraňují molekuly zasažené volnými radikály (např.: enzymy, které opravují poškozenou DNA nebo mechanismy vylučující proteiny, poškozené oxidací)
- **Podle původu (jak vstupují do organismu):**
  - endogenní – vytváří se přímo v organismu
  - exogenní – do organismu vstupují zvenčí, lze je dále dělit na přirozené (např.: vitaminy) a umělé (např.: různé modifikace přirozených antioxidantů, léky)
- **Podle rozpustnosti:**
  - hydrofilní – jsou rozpustné ve vodě, rychle se dostanou do organismu, avšak přes buněčnou membránu obtížně pronikají do buněk i do centrálního nervového systému
  - lipofilní (hydrofobní) – jsou rozpustné v tucích, na místo účinku se dostávají pomaleji
  - amfifilní – mají vlastnosti obou skupin
- **Podle lokalizace:**
  - extracelulární – mimo buňku
  - intracelulární – uvnitř buňky, rozhodující význam pro ochranu buňky před volnými radikály
- **Podle velikosti molekuly:**
  - vysokomolekulární (bílkoviny) – specifické místo zde zaujímají enzymy, jejichž aktivita se podílí na intracelulární antioxidantní ochraně
  - nízkomolekulární
- **Podle mechanismu účinku:**
  - katalyzátory – enzymy a určité sloučeniny kovů, které napodobují enzymy svým mechanismem účinku
  - inhibitory enzymů
  - chelatační látky – váží přechodné kovy (měď, železo aj.) a tím brání jejich prosazení ve Fentonově reakci
  - ostatní
- **Podle typu volného radikálu, na který působí – antioxidanty zneškodňující:**
  - superoxid - superoxid-dismutáza



- hydroxylový radikál – cholesterol, dopamin, albumin aj.
- peroxid vodíku – kataláza, glutathionperoxidáza
- oxid dusnatý – aminoguanidin aj. (Racek, 2003)

## 4.2 Enzymatický ochranný systém

Enzymy jsou charakterizovány jako žijící bílkoviny, které mají za úkol usměrňovat chemické reakce optimálním směrem. Nejdůležitější enzymy, které brání vzniku oxidačního stresu, jsou superoxiddizmutáza (SOD), kataláza (KAT), glutathionperoxidáza (GSHPx) a glutathionreduktáza (GR) (Konopka, 2004). Přeměna nebezpečných volných radikálů je vyobrazena v Tabulce 3. Müllerová (2014) uvádí, že „antioxidační enzymy jsou vývojově velmi staré struktury; v aktivním centru mají přechodný kov. Reakcí s volnými radikály vytvářejí méně toxické produkty, které předávají dále nebo je přímo rozkládají“ (p. 234).

### 4.2.1 Superoxiddizmutáza (SOD)

Patří mezi základní antioxidační enzym a je obsažena uvnitř každé buňky (Racek, 2003; Štípek et al., 2000). SOD dokáže urychlovat dizmutaci superoxidu ( $2 \text{O}_2^{\bullet} + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$ ). Snížená aktivita SOD má u některých onemocnění za následek poškozování organismu působením ROS díky špatnému odstraňování superoxidu (Racek, 2003). Rozeznávají se dva druhy SOD:

- a) Cu, Zn-SOD (SOD1) se nachází v buňkách rostlin i živočichů. U člověka se nachází např. v jaterních buňkách, v mozku a erytrocytech (Racek, 2003) Nedostatek SOD1 má za následek těžké postižení motorických neuronů, nacházejících se v míše a v mozkové kůře. Toto onemocnění se nazývá amyotrofická laterální skleróza (Francis, Hosler, Brown & Fishman, 1995). Naopak zvýšení aktivity SOD1 má za následek různá onemocnění způsobené volnými radikály. Zvýšená produkce superoxidu totiž podporuje syntézu enzymu. Tak je tomu u nemocných např. s Alzheimerovou chorobou, revmatickým onemocněním a u diabetiků (Francis, Hosler, Brown & Fishman, 1995).
- b) Mn-SOD nebo Fe-SOD (SOD2) patří strukturně a vývojově do druhého společenství superoxiddizmutáz (Štípek et al., 2000). Nacházejí se ve všech prokaryotických buňkách, které obsahují buď FeSOD nebo MnSOD. MnSOD se zvyšuje u pacientů, kteří prodělali infarkt myokardu (Usui et al., 1991). Pokud se MnSOD zvýší v séru

alkoholiků, je tento stav považován za oxidační stres u těchto osob (Thome et al., 1997).

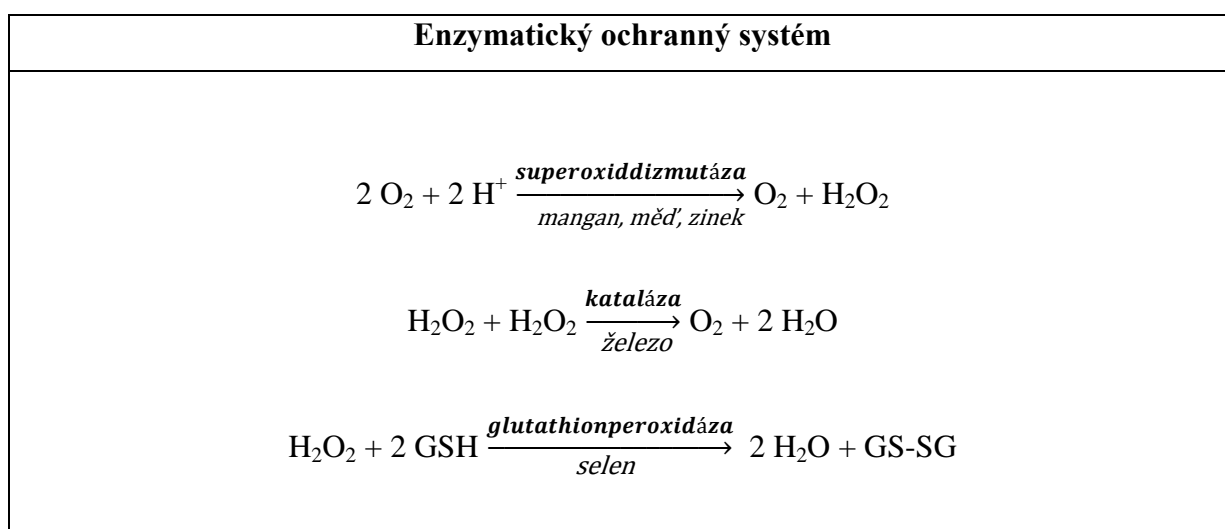
#### 4.2.2 Kataláza (KAT)

Podle Müllerové (2014) se kataláza vyskytuje skoro ve všech živých organismech, vystavujících se kyslíku. Rozkládá peroxid vodíku na kyslík a vodu ( $2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ ). Nejvyšší aktivita katalázy je v mitochondriích a v cytoplazmě erytrocytů (Gaetani et al., 1996). Význam katalázy tkví především v ochraně uvedených buněk před toxickým působením vlivem zvýšené koncentrace peroxidu vodíku (Racek, 2003).

#### 4.2.3 Glutathionperoxidáza (GSHPx)

Rozkládá peroxid vodíku v červených krvinkách a potlačuje aktivitu lipidových peroxidů. Vyskytuje se více druhů GPX, které se liší místem působení. Aby se GPX dokázala aktivovat, potřebuje k tomu malé množství selenu (Müllerová, 2014). Racek (2003) uvádí, že „nedostatek selenu se projeví poklesem aktivity GPX, avšak až tehdy, je-li značný“ (p. 46).

*Tabulka.3. Enzymatický ochranný systém proti volným radikálům přeměňuje nebezpečné volné radikály na neškodné látky, totiž kyslík ( $\text{O}_2$ ) a vodu ( $\text{H}_2\text{O}$ ) (Konopka, 2004, p. 92)*



### 4.3 Vysokomolekulární endogenní antioxidanty

Některé proteiny jsou schopny vázat přechodné prvky (Cu a Fe) a měnit tak jejich oxidoredukční vlastnosti. Tyto prvky následně přestanou katalyzovat radikálové reakce. Mezi vysokomolekulární endogenní antioxidanty se řadí například transferin (váže  $\text{Fe}^{3+}$ ), ferritin (skladuje  $\text{Fe}^{3+}$ ) a albumin (váže  $\text{Cu}^{2+}$ ) (Štípek et al., 2000).

### 4.4 Nízkomolekulární endogenní antioxidanty

#### 4.4.1 Vitamin C (kyselina askorbová)

Kyselina askorbová se řadí mezi esenciální a ve vodě rozpustný vitamin, který je nepostradatelnou součástí biochemických dějů v organismu. Z chemického hlediska je nepostradatelným antioxidantem, který snadno vychytává volné radikály a tím slouží jako ochránce před oxidativním poškozením různých substrátů. Kyselina askorbová redukuje  $\text{O}_2^{\cdot-}$ ,  $\text{HO}_2^{\cdot}$  a  $\text{HO}^{\cdot}$ . Lidské tělo si však není schopno tento velmi užitečný vitamin syntetizovat, a tak je nezbytné ho přijímat potravou (Hlúbik & Opltová, 2004).

Vitamin C se vyskytuje prakticky ve všech živých organismech. Nejvíce ho však obsahuje čerstvé ovoce a zelenina, zejména citrusové plody (Tabulka 4). Mangels et al. (1993) zjistili, že biologická dostupnost kyseliny askorbové z různých zdrojů (např.: pomeranče, pomerančové šťávy, vařené brokolice či vitaminových tablet) se neliší. Dalším a velmi významným zdrojem vitaminu C jsou obyčejné brambory, které v České republice obsahují asi 232 mg vitaminu C na 1 kg vařených brambor. V lidském organismu se vitamin C vyskytuje nerovnoměrně v určitých tkáních. Především v místech, kde mají tkáň vysoký metabolický obrat (Hlúbik & Opltová, 2004). Nejvyšší koncentrace kyseliny askorbové je v nadledvinkách a v polymorfonukleárech (určitá skupina bílých krvinek), které chrání organismus proti infekci (Racek, 2003).

Doporučená denní dávka vitaminu C je u dospělé populace 110 mg (EFSA, 2017). Avšak hodnoty se mohou lišit v závislosti na aktuální spotřebě jednotlivce. Například kuřáci potřebují zvýšit denní příjem vitaminu C až o 50 %. Pro stanovení velikosti denního příjmu vitaminu C je nutno brát na zřetel tyto aspekty:

- životní styl a stravovací zvyklosti – příjem zeleniny, ovoce, alkoholu
- životní prostředí – znečištění ovzduší, kvalitativní a kvantitativní charakteristika

- osobní charakteristiky – kouření, určení úrovně namáhavosti práce (psychické i fyzické), akutní onemocnění (Hlúbik & Opltová, 2004)

Nedostatečný příjem vitamínu C je spojen s nemocí zvanou kurděje u dospělých a Moellerovo-Barlowovou nemocí u kojenců. Důsledky nedostatku kyseliny askorbové mohou mít několik podob. Snížení výkonnosti, únava, zpomalené hojení ran, oslabení kolagenových struktur jsou jedny z příznaků suboptimálního přívodu vitamínu C. Ten, mimo jiné také zasahuje do biosyntézy katecholaminů a při jeho nedostatku se mohou dostavit deprese, změny nálad a hypochondrie. V západních, průmyslově vyspělých zemích se dnes nedostatek vitamínu C objevuje zřídka, avšak v našem podnebném pásmu se v zimních a jarních měsících vyskytovat mohou. Zvláště u starých lidí, kteří jsou omezeni kousacím aparátem při konzumaci čerstvé zeleniny a ovoce. U nich se mohou vyskytovat příznaky, jako je snížená vitalita, únava, náchylnost k infekcím a mentální poruchy (Heinrich, 2015; Hlúbik & Opltová, 2004). Dále byly pozorovány nízké hladiny vitamínu C u kuřáků (Melhus, Michaëlsson, Holmberg, Wolk, & Ljunghall, 1999), u pacientů s těžkými infekcemi, případně septickým šokem (Galley, Howdle, Walker, & Webster, 1997), u zánětu slinivky, hypertenze či akutním infarktu myokardu aj. U všech těchto stavů lze pozorovat zvýšenou hladinu volných radikálů v organismu (Racek, 2003). Naopak při zvýšeném příjmu kyseliny askorbové se jeho absorpce snižuje. Intoxikace je tedy vzácná a objevují se spíše vedlejší účinky. Byl pozorován neklid, tvorba ledvinových kamenů a nespavost. Dále zvýšená kyselost v žaludku, která po transportu do tenkého střeva může způsobit plynatost, průjem, zánět a omezení vstřebávání tohoto vitamínu společně se zvýšenou ztrátou kyseliny askorbové stolicí (Hlúbik & Opltová, 2004).

Vitamin C se účastní různých fyziologických a metabolických pochodů v organismu. Pozitivně ovlivňuje syntézu kolagenu, hojení ran a podílí se na správném fungování imunitního systému. Příklady účinky vitamínu C na organismus:

- **nachlazení** – byl prokázán pozitivní účinek při suplementaci 1g kyseliny askorbové denně, převážně v zimních měsících. Mimoto byla intenzita příznaků slabší a onemocnění bylo zkráceno. Autoři však zdůrazňují, že vitamin C je nutné užívat preventivně, nikoli až po vypuknutí příznaků (Mangels et al., 1993).
- **Alzheimerova choroba** – Engelhart et al. (2002) sledovali účinky vitamínu C a E na Alzheimerovu chorobu po dobu šesti let u více než 5000 osob s průměrným věkem 67,7 let. Výsledky naznačují, že vyšší příjem vitamínu C a E z potravy může být spojen s nižším rizikem Alzheimerovy choroby. Srovnatelný výsledek vypožorovala studie v USA, provedená na osobách starších 65 let. Při podávání vitamínu C a E v dávkách,

kteře přesahují denní potřebu, bylo u některých případů vypořováváno zabrání vzniku Alzheimerovy choroby (Zandi et al., 2004).

- **nádorová onemocnění** – neadekvátní saturace vitamínem C má za následek vznik nádorového bujení hlavně v zařivacím traktu (ve sliznici dutiny ústní, hltanu a žaludku) (Hlúbik & Opltová, 2004). Při vyšší konzumaci zeleniny, ovoce a celozrnných výrobků je vznik karcinomu žaludku nízký, jelikož jsou tyto potraviny bohaté na vitamín C a E. Oba tyto vitamíny zabraňují vzniku nitrosaminů (nejsilnější známe karcinogeny) v žaludku (Heinrich, 2015).

Tabulka 4. Vybrané potraviny, které obsahují vitamín C (Hlúbik & Opltová, 2004)

| potravina                      | obsah vitamínu C<br>mg/1000g<br>(jedlá podoba) | potravina                   | obsah vitamínu C<br>mg/1000g<br>(jedlá podoba) |
|--------------------------------|--|-----------------------------|--|
| bramborové hranolky<br>mrazené | 46   | kapusta růžičková           | 787  |
| brambory rané                  | 232  | křen                        | <b>1 125</b>                                   |
| brokolice                      | <b>1 130</b>                                   | paprika/zmrazená<br>paprika | <b>1 615/603</b>                               |
| citrony                        | 443  | petržel-nať                 | <b>1 369</b>                                   |
| grapefruity                    | 416  | pomeranče                   | 513  |
| jablka                         | 48   | rybíz černý                 | <b>1 360</b>                                   |
| jahody/mrazené jahody          | 618/466  | zelí červené/bíle<br>kysané | 518/134  |

#### 4.4.2 Vitamin E

Vitamin E se vyznačuje lipofilním charakterem, jehož chemický název souhrnně označujeme jako tokoferoly. V přirozené formě se vyskytuje v podobě  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  a  $\delta$  tokoferolu. Nejvíce je v lidském organismu zastoupen  $\alpha$ -tokoferol (Heinrich, 2015; Hlúbik & Opltová, 2004).

Vitamin E se řadí mezi typický membránový antioxidant, který nachází uplatnění především v ochraně lipidů a lipoproteinových částic plazmy (Sies, & Murphy, 1991). Tokoferoly syntetizují výhradně rostliny, které ho využívají jako „ochránce“ před peroxidací

polynenasycených mastných kyselin. RRR-  $\alpha$ -tokoferol je přírodní forma vyskytujícího se vitamínu E, syntetická forma se označuje jako all-rac-  $\alpha$ -tokoferol (Heinrich, 2015). Při pokusech na zvířatech bylo zjištěno, že přírodní forma RRR-  $\alpha$ -tokoferolu je 1,36% účinnější než forma syntetického all-rac-  $\alpha$ -tokoferolu. Přitom antioxidační aktivita obou forem vitamínu E je stejná (Traber, 1999).

Jelikož je vitamin E obsažen ve všech rostlinných lipidech, jeho hlavním zdrojem jsou tedy rostlinné oleje. Dále například kukuřice, obilné výrobky, jádra ořechů, hrášek a některé druhy zeleniny. V menší míře se vyskytuje i v živočišných zdrojích (vejce, vepřové maso, králičí maso, játra a ostatní). Příklady zdrojů vitamínu E zobrazuje Tabulka 5.

$\alpha$ -tokoferol se běžně přidává do jedlých olejů, aby se zvýšila jeho biologická hodnota. Dobrým zdrojem  $\alpha$ -tokoferolu jsou slunečnicový olej, řepkový olej a olej z obilných klíčků, který obsahuje i  $\beta$ -tokoferol. Sójový olej obsahuje  $\gamma$  a  $\delta$ -tokoferol (Hlúbik & Opltová, 2004). Podařilo se zjistit, že  $\gamma$ -tokoferol má příznivější antioxidační účinek v biologických systémech, než  $\alpha$ -tokoferol. Přípravky obsahující vitamin E, které vykazují ochranný účinek před kardiovaskulárními onemocněními, neobsahují  $\alpha$ -tokoferol, ale  $\gamma$ -tokoferol (Wagner, Kamal-Eldin, & Elmadfa, 2004). V lidském organismu se vitamin E nachází nejhojněji v játrech a v tukové tkáni. V játrech, plicích, plazmě a ledvinách je tokoferol metabolizován rychleji, než v tukové tkáni (Hlúbik, & Opltová, 2004).

Podle Evropského úřadu pro bezpečnost potravin (EFSA, 2017) by měl být denní příjem vitamínu E 13 mg. Při vysoké konzumaci rostlinných olejů však může být optimální zásobení organismu ztíženo, protože samotné polynenasycené kyseliny potřebují vitamin E jako obranu před oxidací. Jinak řečeno, pro optimální ochranu organismu před volnými radikály je zapotřebí při zvýšené konzumaci polynenasycených mastných kyselin zvýšit přísun vitamínu E (Heinrich, 2015).

Nedostatek vitamínu E je pozorován jen velmi zřídka. Převážně se projevuje při poruchách metabolismu svalstva, nervů a kapilární propustnosti. U dětí se vyskytuje chudokrevnost, jako důsledek poškození způsobené volnými radikály. Příznaky nedostatku mohou být zmírněny, jestliže se navýší denní příjem vitamínu E. Vysoké dávky mohou být úspěšně použity při onemocnění jater nebo při snížené tukové absorpci. Dále se vitamin E podává při atrofii sliznic, onemocnění kůže, degeneraci kloubů apod. Hypervitaminóza se objevuje velmi zřídka, protože vitamin E nevykazuje toxické vlastnosti ve srovnání s vitamínem A a D (Hlúbik & Opltová, 2004).

V organismu se průměrně vstřebává asi 30 % přijatého vitamínu E, pokud se však dává farmakologicky, dosahuje vstřebávání jen asi 10 %. (Heinrich, 2015).

Příklady účinku vitamin E na lidský organismus:

- **diabetes mellitus** – dlouhodobě nízká hladina vitaminu E, urychluje progresi rozvoje diabetes mellitus (Salonen et al., 1995).
- **epileptický záchvat** - vitamin E se ukázal jako prospěšný doplněk léků proti křečím. Zlepšení se vyskytlo u osob, které trpí těmito záchvaty a jsou vůči lékům odolní (Levy, Burnham, Bishai & Hwang, 1992).

Tabulka 5. Vybrané potraviny, které obsahují vitamin E (Hlúbik & Opltová, 2004)

| potravina     | obsah vitaminu E<br>mg/1000g<br>(jedlá podoba) | potravina      | obsah vitaminu E<br>mg/1000g<br>(jedlá podoba) |
|---------------|--|----------------|--|
| hrášek zelený | 30   | ořechy vlašské | <b>200</b>                                     |
| játra hovězí  | 10   | ovesné vločky  | 37   |
| králík        | 10   | palmový olej   | <b>100</b>                                     |
| kuře          | 2,1  | piškoty        | 42   |
| makrela       | 16   | sádlo vepřové  | 22   |
| mrkev         | 20   | špenát         | 25   |
| ořechy burské | <b>200</b>                                     | vejce slepičí  | 10   |

#### 4.4.3 Ubichinon (koenzym Q)

Ubichinon, který obsahuje 10 izoprenových jednotek, se nazývá koenzym Q<sub>10</sub>. V rostlinných potravinách existuje i koenzym Q<sub>1-9</sub>, ale po jeho přijetí si organismus vyrobí v játrech formu koenzymu Q<sub>10</sub>. Tato látka je užitečným antioxidantem potřebným pro tvorbu a následné využití energie v organismu. Působí především jako lipofilní antioxidant. (Heinrich, 2015; Racek, 2003).

Ubichinon je v našich potravinách velice rozšířen. Vyskytuje se v živočišné i rostlinné podobě. Mezi potraviny bohaté na koenzym Q<sub>10</sub> patří játra, vejce, maso a ryby. Ubichinon se mimoto syntetizuje i v lidském organismu z aminokyselin. Jeho koncentrace se však v různých tkáních s věkem snižuje. Například v myokardu je u starších osob o 50 – 60 % méně ubichinonu, než u osob ve středním věku (Heinrich, 2015). Suplementace ubichinonu je doporučována osobám, které trpí ischemickou chorobou srdeční, nebo těm, kteří prodělaly

infarkt myokardu (Hanaki, Sugiyama, Ozawa, & Ohno, 1993). Ubichinon zvyšuje výkon sportovců, snižuje krevní tlak a počet arytmií (Ylikoski, Piirainen, Hanninen, & Penttinen, 1997).

#### 4.4.4 *Glutathion*

Řadí se mezi nedůležitější intracelulární neenzymový antioxidant. Nachází se v buňkách, kde je obsažen ve vysoké koncentraci. Například v erythrocytech se jeho hladina pohybuje od 1,5 – 2,0 mmol/l. Glutathion se vyskytuje v redukované formě (GSH) a ve formě oxidované (GSSG). Organismus se snaží udržovat rovnoměrný stav mezi GSA a GSSG, aby zamezil narušení antioxidantní kapacity buňky. Velkou převahu má forma redukovaná, která má v erythrocytech přibližně 500x vyšší zastoupení, než forma oxidovaná. Tento kvocient klesá, je-li organismus vystaven velkému oxidačnímu stresu (Racek, 2003).

GSH dokáže chránit DNA v buněčném jádře, aby nedošlo k oxidačnímu poškození (Spear & Aust, 1995). GSH se podílí na zneškodňování peroxidu vodíku. Pokud je ho tedy v organismu málo, může se peroxid vodíku hromadit a dále se přeměnit na nebezpečný hydroxylový radikál. Jestliže klesne koncentrace GSH, respektive poměru GSH/GSSG, zvýší se produkce volných radikálů. Tento jev byl pozorován u kuřáků, ischemie, maligních nádorů, akutní pankreatitidy, intoxikace alkoholem (Racek, 2003), infarktu myokardu (Röth, Török, Kelemen, & Pollak, 1989), Parkinsonově chorobě (Jenner, 1993) a u vysílených sportovců (Leichtweis, Leeuwenburgh, Parmelee, Fiebig, & Ji, 1997).

#### 4.4.5 *Kyselina lipoová (lipoát)*

Lipoát je univerzálním antioxidantem (Štípek et al., 2000). Dříve byl označován za vitamin B13, ale vitaminový charakter nemá (Murray, 2009). Je syntetizován v lidském organismu a diskutuje se o jejím příznivém účinku na různá onemocnění (např.: chronické onemocnění jater) (Heinrich, 2015).

#### 4.4.6 *Melatonin*

Je hormonem, produkováný v epifýze, který se podílí na řízení spánkového cyklu a na regulaci nástupu puberty (Štípek et al., 2000). Melatonin působí v lidském těle jako antioxidant. Při farmakologických hladinách dokáže vychytávat hydroxylové radikály (Reiter, Carneiro, & Oh, 1997) a chrání také před lipoperoxidací (Kelly, & Loo, 1997). Melatonin se



v lidském těle tvoří převážně ve tmě. Hlavně v zimním období, kdy je dlouhá noc a nedostatek antioxidantních látek v potravě. V průběhu dne jeho hladina opět klesá (Balzer, & Hardeland, 1996). Význam antioxidantního působení melatoninu však zpochybňuje fakt, že je jeho produkce omezená na noční období, ačkoli nejvíce volných radikálů vzniká ve dne (Racek, 2003). Někteří autoři neuznávají antioxidantní působení fyziologických koncentrací melatoninu (Duell, Wheaton, Shultz, & Nguyen, 1998).

#### 4.4.7 Kyselina močová (urát)

Již dnes není chápána pouze jako odpadní produkt, ale také významný činitel při antioxidantní ochraně organismu (Becker, 1993; Pecháň, 1995). Ochrana spočívá v přímé vazbě volných radikálů na urát, kdy vznikne urátový radikál, který je následně regenerován hlavně kyselinou askorbovou (Maples, & Mason, 1988). Důležitější je však vazba kyseliny močové s ionty železa, čímž brání vzniku hydroxylového radikálu (Davies, Sevanian, Muakkassah-Kelly, & Hochstein, 1986) a chrání také kyselinu askorbovou před její oxidací.  $\alpha$ -tokoferol je díky urátu také chráněn (Cross et al., 1992).

Kyselina močová, která vzniká v organismu, je asi z 20 – 30 % vyloučena střevem, největší podíl je však vyloučen ledvinami. Koncentrace kyseliny močové, která se nachází u zdravého člověka v séru, je 2 – 7 mg/100ml (Heinrich K., 2015). Je to tedy nejhojněji vyskytující se antioxidant plazmy, který organismus účelně využívá ke svému hospodaření (Štípek et al., 2000). Nejvíce se ho tvoří po vysoké tělesné námaze (Maxwell, Jakeman, Thomason, Leguen, & Thorpe, 1993), po kardiochirurgických operacích (Barta et al., 1991; Huizer et al., 1989).

## 5 FYTOCHEMICKÉ LÁTKY

Podle Mindell (2000) jsou fytochemikálie „přirozené chemické sloučeniny vyskytující se v rostlinách, které jako součást potravin chrání zdraví. Obsahuje je především ovoce, zrniny a luštěniny. Působí jako chemické látky, jež jim současně dodávají barvu, vůni a chuť“ (p. 130). Oproti tomu chrání rostlinu před různými škůdci a chorobami díky antibakteriálním a protiplísňovým vlastnostem. Fytochemické látky opravují škodu způsobenou škůdci a rostlina díky nim dokáže přežít i v nevhodných podmínkách (Béliveau & Gingras, 2008).

Ochranná úloha fytochemikálií se neomezuje pouze na zdraví rostlin. Mají také velmi významný podíl na chování našeho obranného systému, zejména v boji s rakovinou (Béliveau, & Gingras, 2008). Nemají žádnou energetickou hodnotu a nepatří mezi základní

živiny. Vyznačují se však vlastnostmi, které jsou zdraví prospěšné pro lidský organismus (Marko, Rakická, & Šturdík, 2015). Byl například prokázán jejich antikarcinogenní a antioxidační účinek. Kromě nich také snižují cholesterol a nadváhu (Surh et al., 2001).

Nově získané studie ukázaly, že rostlinné potraviny obsahují látky, kterým dosud nebyla věnována velká pozornost a které jsou biologicky velmi aktivní. Dnes se fytochemikálie řadí mezi sekundární rostlinné látky. Jejich počet se odhaduje na 60 000-100 000 (Heinrich, 2015).

Uvedu zde základní dělení sekundárních rostlinných látek a dále se budu věnovat pouze karotenoidům.

Dělení fytochemických látek podle Heinricha (2015):

- **Karotenoidy:**
  - Karoteny ( $\alpha$ -karoten,  $\beta$ -karoten, lykopen)
  - Xantofyly (zeaxantin, lutein,  $\beta$ -kryptoxantin)
- **Polyfenoly:**
  - Flavonoidy (kvercetin, keamferol, katechol, epikatechol, antokyany)
  - Fenolické kyseliny (kyselina kávová, kumarová, gallová, vanilová)
  - Fytoestrogeny:
    - Izoflavony (genistein)
    - Lignany
    - Kumestany
- **Glukosinoláty**
- **Fytoestrogeny**
- **Sulfidy**
- **Saponiny**
- **Fytosteroly**
- **Monoterpeny**
- **Inhibitory proteáz**
- **Kyselina fytová**

## 5.1 Karotenoidy

Název karotenoidy nesou přírodní pigmenty, které se nacházejí nejen v rostlinách, ale také v mikroorganismech. Rozdělují se na karoteny ( $\alpha$ -karoten,  $\beta$ -karoten, lykopen) a na xantofyly (zeaxantin, lutein,  $\beta$ -kryptoxantin) (Heinrich, 2015).

Karotenoidy jsou rozpustné v tucích a v rostlinách jsou nezbytné pro ochranu fotooxidačního poškození. Rostliny a plody se díky nim zbarvují do různých barev, avšak v zelených rostlinách jsou překrývány chlorofylem. V přírodě se vyskytuje zhruba 600 těchto pigmentů. Nejznámějšími z nich jsou  $\beta$ -karoten,  $\alpha$ -karoten,  $\beta$ -kryptoxantin, lutein, lykopen a zeaxantin. Různé druhy ovoce a zeleniny nesou rozdílné množství jednotlivých karotenoidů. V Tabulce 6 jsou uvedené koncentrace nejdůležitějších karotenoidů ve vybrané zelenině a v ovoci. Z Tabulky 6 je patrné, že  $\beta$ -karoten je nejrozšířenější karotenoid. Jiné karotenoidy se sice nevyskytují tak často, ale jejich obsah je mnohem vyšší. To platí například u listové kapusty nebo u vařeného špenátu (Heinrich, 2015; Hlúbik, & Opltová, 2004; Kincl, 2006).

Mindel a Mundisová (2006) definují, že „karotenoidy jsou významnými fytochemikáliemi, které působí především jako antioxidanty proti vzniku rakoviny“ (p. 218). Hrají důležitou roli v prevenci lidských nemocí a jako silné antioxidanty brání vzniku kardiovaskulárních onemocnění, rakoviny a jiných chronických onemocnění. Směsi karotenoidů nebo sdružování s jinými antioxidanty (například s vitamínem E) mohou zvýšit jejich účinnost proti volným radikálům. Kromě antioxidantního působení pomáhají karotenoidy s mezibuněčnou komunikací díky proteinovým můstkům (konexinům) mezi buňkami. Vyšší tvorba proteinových můstků je důvodem ochrany před karcinogenezí (Heinrich, 2015; Paiva, & Russell, 1999).

Karotenoidy jsou přítomny v typické lidské stravě (ovoce, zelenina, houby, ryby...). Jsou zodpovědné za žlutou, oranžovou nebo červenou barvu ovoce (Milani, Basirnejad, Shahbazi, & Bolhassani, 2017). Potravou jich přijímáme pouze 40. Z těchto 40 bylo asi 20 karotenoidů identifikováno v lidské krvi a tkáních. Přibližně 90 % karotenoidů se v lidské stravě vyskytuje v podobě  $\alpha$ -karotenu,  $\beta$ -karotenu, lykopenu, luteinu a kryptoxantinu (Gerster, 1997). Lidské tělo není schopno výroby karotenoidů, proto je musíme přijímat s potravou. Nejen ovoce a zelenina jsou zdrojem karotenoidů. I v různých doplňcích stravy je možné hledat tento přírodní pigment (Šivel, Klejdus, Kráčmar, & Kubáň, 2013).

Tabulka 6. Obsah karotenoidů v ovoci a zelenině (Heinrich, 2015, p.37)

| ovoce, zelenina   | $\beta$ -karoten          | $\alpha$ -karoten         | lutein a zeaxantin        | lykopen                   | $\beta$ -krypoxantin      |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                   | $\mu\text{g}/100\text{g}$ | $\mu\text{g}/100\text{g}$ | $\mu\text{g}/100\text{g}$ | $\mu\text{g}/100\text{g}$ | $\mu\text{g}/100\text{g}$ |
| vařená brokolice  | 1 300                     |                           | 1 800                     |                           |                           |
| růžičková kapusta | 480                       |                           | 1 300                     |                           |                           |
| syrová mrkev      | 7 900                     | 3 600                     | 260                       |                           |                           |
| vařená mrkev      | <b>9 800</b>              | <b>3 700</b>              |                           |                           |                           |
| zelené fazole     | 630                       | 44                        | 740                       |                           |                           |
| zelený hrášek     | 350                       | 16                        | 1 700                     |                           |                           |
| listová kapusta   | 4 700                     |                           | <b>21 900</b>             |                           |                           |
| saláty            | 1 200                     |                           | 1 800                     |                           |                           |
| červená paprika   | 2 200                     | 60                        |                           |                           |                           |
| vařený špenát     | 5 500                     |                           | <b>12 600</b>             |                           |                           |
| pampeliška        | 1 310                     |                           |                           | 3 362                     |                           |
| rajčatová šťáva   | 900                       |                           |                           | <b>8 500</b>              |                           |
| syrová rajčata    | 520                       |                           | 100                       | 3 100                     |                           |
| mandarinky        | 38                        | 20                        | 20                        |                           | <b>214</b>                |

### 5.1.1 Vstřebávání karotenoidů

V lidském organismu se karotenoidy vstřebávají špatně. Hodnota resorpce je 2 - 50 %. Záleží na způsobu přípravy dané potraviny (např. mechanické zpracování) a na kombinování potravin, především s tuky. Karotenoidy se v trávicím ústrojí vstřebávají v podstatě stejně, jako vitaminy rozpustné v tucích.

Živiny rozpustné v tucích spolu s uvolněnými karotenoidy putují ve formě micel do sliznice tenkého střeva. Zde se určitá skupina karotenoidů dokáže přeměnit na vitamin A.

Společně se vstřebanými tuky putují karotenoidy lymfatickou cestou do krve a pak do jater. Ukládají se také do určité míry i v ostatních tkáních (Heinrich, 2015).

### 5.1.2 $\beta$ -karoten

Tento karotenoid je nejrozšířenějším provitaminem A. V přírodních zdrojích se vyskytuje spolu s  $\alpha$  a  $\gamma$ -karotenem. V lidském organismu plní především dvě funkce. Při metabolických pochodech se dokáže syntetizovat na vitamin A (stejně tak dalších 60 druhů karotenoidů). Lze ho tedy považovat za prekursor tohoto vitamínu. Dále je také zapojen do antioxidačních reakcí, které plní funkci ochrany organismu před oxidativním poškozením (Hlúbik, & Opltová, 2004).

$\beta$ -karoten se vyskytuje nejen v ovoci a zelenině, ale také v živočišných produktech. V zelenině se nejvíce vyskytuje ve vařené mrkvi (9 800  $\mu\text{g}/100\text{g}$ ), syrové mrkvi (7 900  $\mu\text{g}/100\text{g}$ ) a ve vařeném špenátu (5 500  $\mu\text{g}/100\text{g}$ ). Bohatým zástupcem mezi ovocem jsou například meruňky (průměrně 930  $\mu\text{g}/100\text{g}$ ), jejichž obsah  $\beta$ -karotenu se liší podle místa pěstování. Teplejší a sušší klima může vést k vyššímu zastoupení  $\beta$ -karotenu v meruňkách. Jižní Asie je v pěstování meruňek neoptimálnější, co se týká klimatických podmínek. Ve srovnání s tuzemskými meruňkami je obsah  $\beta$ -karotenu v Jižní Asii o 222,1 % vyšší. Jednotlivý poměr karotenoidů je v různých produktech proměnlivý. Záleží na exogenních a endogenních vlivech, např.: odrůdě, zralosti, složení půdy atd. V živočišných materiálech záleží na krmění, na plemeni zvířete a na způsobu jeho chovu. (Pospiech, Vaculíková, & Oštádolová, 2014).

Při vstřebávání  $\beta$ -karotenu dochází v organismu k mnoha ovlivnitelným faktorům. Tepelně upravená zelenina nebo ovoce, přináší daleko větší využitelnost, než nijak nezpracované suroviny. Rovněž tuky přijaté potravou zvyšují množství vstřebaného karotenoidu (Hlúbik & Opltová, 2004). Již při příjmu malého množství tuku (asi 3g/den) se  $\beta$ -karoten spolu s  $\alpha$ -karotenem zvládají optimálně vstřebávat (Roodenburg, Leenen, Hof, Weststrate, & Tijburg, 2000).

Koncentraci  $\beta$ -karotenu v těle neovlivňuje pouze příjem, ale i fyziologické faktory a životní styl jedince. Drewnowski (2000) zkoumal francouzskou populaci, u níž zjistil, že příjem  $\beta$ -karotenu a vitamínu C je pozitivně spojen s příjmem ovoce a zeleniny a negativně spojen se spotřebou energie, alkoholu a tuku.

Mnoho studií se zabývalo významem  $\beta$ -karotenu na organismus, z nichž některé zjistili překvapivé výsledky. Russel (2000) například uvádí, že při užívání vyšších dávek  $\beta$ -karotenu v silně oxidačním prostředí (kuřáci) může docházet k rozvoji rakovinového procesu. Další studie se snažily objasnit vliv  $\beta$ -karotenu na kardiovaskulární onemocnění, avšak každá studie se liší a není tak možno přesně stanovit míru prevence. Kritchevski (1999) se zabýval příčinami rozdílů všech studií a považuje za pravděpodobné, že se vyskytují další neměřené

faktory (účinky ostatních karotenoidů), které korelují s hladinami  $\beta$ -karotenu. Výsledky se pouze shodují, že při dostatečné konzumaci zeleniny lze předpokládat výrazně nižší riziko infarktu myokardu (Klipstein-Grobusch et al., 1999). Za nejvíce účinnou prevenci se považuje konzumace mrkve, salátů a různých šťáv z ovoce (Hlúbik, & Opltová, 2004).

### 5.1.3 *$\alpha$ -karoten*

$\alpha$ -karoten se v potřebných situacích dokáže transformovat ve vitamin A. Má silnější antioxidační působení před volnými radikály než  $\beta$ -karoten.  $\alpha$ -karoten chrání oči, plicní tkáň, kůži a játra. Při pokusech na zvířatech bylo zjištěno, že radikálně potlačuje všechny druhy tumorů. Nejhojněji se  $\alpha$ -karoten vyskytuje ve vařené mrkvi a dýni (Mindell, & Mundisová, 2006).

### 5.1.4 *Lykopen*

Lykopen není provitaminem A, ale opět je tento karotenoid antioxidačně účinnější než  $\beta$ -karoten. Lykopen se nachází především v červených a oranžových druzích ovoce a zeleniny. Mezi zástupce patří rajčata, červené grapefruity a melouny. Lykopen je účinný v potlačování růstu všech druhů tumorů (Mindell, & Mundisová, 2006). Ochranný účinek má především před karcinomem prostaty (Terry, Lichtenstein, Feychting, Ahlbom, & Wolk, 2001).

Tento přírodní karotenoid je velmi stabilní vůči tepelnému zpracování a během zmrazení. Až pětkrát větší využitelnost v organismu nastává tehdy, pokud se produkty obsahující lykopen tepelně zpracují (Kalač, 2009). Nejlépe se získává přímo z malého množství tuku, například z olivového oleje (Mindell, & Mundisová, 2006).

### 5.1.5 *Lutein*

Tento karotenoid není provitaminem A, ale je také velmi účinným antioxidantem. Lutein je výborným karotenoidem především v ochraně očí. Dokáže odstraňovat volné radikály, které vznikají díky ultrafialovým paprskům dopadajícím na sítnici oka (Mindell, & Mundisová, 2006). Tím chrání fotoreceptory a pigmentový epitel (Topliss et al., 2002). Na žluté skvrně oční mohou vznikat degenerativní změny, které jsou příčinou slepoty. Lutein tyto změny zastavuje (Mindell, & Mundisová, 2006).

Je přítomen v různých druzích zeleniny, které mají žlutooranžové zbarvení. Jedná se například o brokolici, špenát a kapustu. Žlutooranžová barva je však překrývána chlorofylem a proto má zelenina zelené zbarvení. Pro zlepšení biologické dostupnosti luteinu, je vhodné zeleninu tepelně zpracovat. Optimální kombinací vyjmenovaných druhů zeleniny společně s vejcem, docílíme nejkvalitnějšího přísunu tohoto karotenoidu. Luteinu je ve vejci sice méně než ve špenátu, ale jeho biologická dostupnost je podstatně vyšší. Pokud se zelenina tepelně neupravuje, je vhodné přidat rostlinný olej. Lutein se v něm dobře rozpouští (Kunová, 2015).

#### 5.1.6 Zeaxantin

Zeaxantin není provitaminem A. Stejně jako lutein je považován za důležitý karotenoid, jehož antioxidační působení využívají především oči (působí například proti makulární degeneraci a šedému zákalu). Oba tyto karotenoidy absorbují modré světlo, které je nejaktivnější složkou slunečního záření (Topliss et al., 2002).

Mezi zástupce zeaxantinu se řadí například řeřicha a listy čekanky (Mindell, & Mundisová, 2006).

#### 5.1.7 $\beta$ -kryptoxantin

$\beta$ -kryptoxantin se v lidském těle dokáže přeměnit na vitamin A. Stejně jako ostatní karotenoidy, může  $\beta$ -kryptoxantin pomoci biomolekulám, které jsou poškozovány volnými radikály. Chrání lipidy, proteiny i DNA proti jejich poškození a přispívá také k posílení opravných mechanismů, které nastupují po oxidačním poškození DNA (Lorenzo et al., 2008).  $\beta$ -kryptoxantin se nachází v tropických plodech (papája, pomeranče, mandarinky, broskve atd.) (Mindell, & Mundisová, 2006).

Toniolo et al. (2001) zjistili, že určitá hladina  $\beta$ -kryptoxantinu a luteinu v séru, je spojena se sníženým rizikem karcinomu prsu.

## 6 HLAVNÍ CÍL

Hlavním cílem práce bylo zjistit množství karotenoidů v kůži u vysokoškolských studentů a posoudit vybrané stravovací zvyklosti, které ovlivňují tuto úroveň karotenoidů. Rovněž bylo hodnoceno, zda existují generové diference v hladinách karotenoidů.

### 6.1 Výzkumné otázky

- A. Má pravidelná konzumace potravy pozitivní vliv na hladinu karotenoidů?
- B. Má pravidelná konzumace zeleniny pozitivní vliv na hladinu karotenoidů?
- C. Má pravidelná konzumace ovoce pozitivní vliv na hladinu karotenoidů?
- D. Má množství zkonsumované šťávy pozitivní vliv na hladinu karotenoidů?
- E. Má užívání potravinových doplňků pozitivní vliv na hladinu karotenoidů?



## 7 METODIKA

### 7.2 Charakteristika výzkumného souboru

Výzkumný soubor byl tvořen vysokoškolskými studenty. Kritériem pro výběr studentů byl věk (nejméně 18 let) a pohybová aktivita, kterou dotazovaní museli vykonávat (minimálně 7 hodin/týden). Dobrovolníci byli osloveni začátkem letošního únorového měsíce prostřednictvím sociálních sítí. Do konce měsíce jsem vybrala 40 osob, které nejlépe splňovaly uvedená kritéria. Celkem se výzkumu zúčastnilo 20 žen a 20 mužů. Testované ženy byly aktivní sportovkyně. Mužská část zahrnovala studenty Univerzity obrany v Brně.

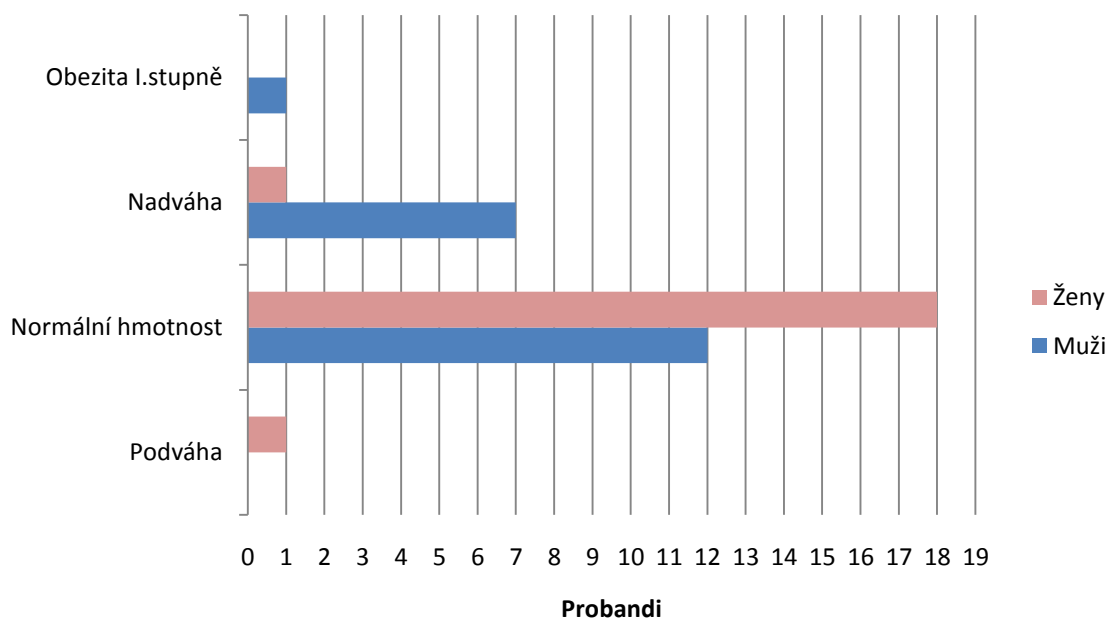
Průměrný věk žen byl 21,95 let  $\pm$  1,9 let a průměrný věk mužů 22,3 let  $\pm$  1,84 let. Tabulka 7 znázorňuje věkové zastoupení měřených účastníků. Na základě uvedených údajů o hmotnosti a výšce, jsem vypočítala BMI, které dosahovalo průměrných hodnot 22,29  $\pm$  1,95 kg/m<sup>2</sup> u žen a 24,89  $\pm$  2,33 kg/m<sup>2</sup> u mužů (Tabulka 8).

Tabulka 7. Věkové zastoupení měřených účastníků

|                         | Relativní četnost | 18 let | 19 let | 20 let | 21 let | 22 let | 23 let | 24 let | 25 let | 26 let | 27 let | 28 let | 29 let | 30 let |
|-------------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Celkový počet<br>N = 40 | 100               | 1      | 0      | 1      | 15     | 13     | 3      | 4      | 0      | 2      | 0      | 0      | 1      | 0      |
| Počet žen<br>n=20       | 50                | 1      | 0      | 1      | 8      | 5      | 1      | 2      | 0      | 2      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Počet mužů<br>n=20      | 50                | 0      | 0      | 0      | 7      | 8      | 2      | 2      | 0      | 0      | 0      | 0      | 1      | 0      |

Tabulka 8. Průměrné hodnoty BMI podle pohlaví

|              | Průměrná hodnota (kg/m <sup>2</sup> ) | Směrodatná odchylka | Minimum | Maximum |
|--------------|---------------------------------------|---------------------|---------|---------|
| Ženy (n= 20) | 22,29                                 | 1,95                | 18      | 25,3    |
| Muži (n= 20) | 24,89                                 | 2,33                | 21,6    | 30,1    |



Obrázek 2. Kategorie tělesné hmotnosti dle hodnot BMI u obou pohlaví (N= 40)

Většina účastníků výzkumu se pohybovala v kategorii normální hmotnosti. Avšak 7 mužů má nadváhu a 1 muž dokonce obezitu I. stupně (Obrázek 2).

## 7.2 Sběr dat

Před měřením se probandi seznámili s náležitostmi experimentu a po podepsání informovaného souhlasu (Příloha 1) vyplnili anketu, sledující dílčí položky a stravovací návyky s důrazem na konzumaci ovoce a zeleniny. Následně bylo provedeno měření karotenoidů v kožní tkáni. Účastníkům výzkumu byla po zpracování výsledků poskytnuta zpětná vazba. Během měření i následného zpracování byla zachována anonymita všech zúčastněných.

Účast probandů ve výzkumu byla dobrovolná, mohli kdykoliv ze studie odstoupit, aniž by udali důvod. Měření probíhalo ve standardních podmínkách zátěžové laboratoře, aby byla zajištěna standardizace testů. Výzkum byl schválen Etickou komisí.

### 7.2.1 Anketní šetření

Anketa je tvořena celkem 12 otázkami a byla vytvořena originálně pro můj výzkum. (Příloha 2).

Úvodní část je věnována základním informacím, které zahrnují pohlaví, věk, výšku a hmotnost. Dále je anketa zaměřena na otázky o aktuálních stravovacích zvyklostech. Respondenti doplňovali počet pravidelných jídel během dne, dále konzumaci ovoce a zeleniny, pití šťáv, užívání doplňků stravy či dietní nebo alergické omezení v příjmu potravy.

Otázky, týkající se příjmu ovoce a zeleniny, zahrnovaly také počet porcí (1 porce ovoce = jedlá část 1 ks ovoce střední velikosti nebo 2 ks menší velikosti. 1 porce zeleniny = 1 miska čerstvé nebo mražené zeleniny nebo 1 ks zeleniny střední velikosti). Šťávy byly rozděleny na ovocné, zeleninové a mix. Respondenti také uváděli množství vypité šťávy (ml).

Jednalo se o anonymní anketu, která byla pro všechny účastníky výzkumu identická. Doba na vyplnění se pohybovala okolo 5 minut.

### 7.2.2 Způsob měření

Pro měření hladiny karotenoidů v kožní tkáni byl použit Biofotonický Scanner S3 (Pharmanex, Nu Skin Enterprises, Provo, UT, USA), který funguje na principu rezonanční Ramanovy spektroskopie. Tento přístroj umožňuje neinvazivně měřit koncentraci karotenoidů v kůži. Měření probíhá tak, že testovaná osoba přiloží ke skeneru dlaň pravé ruky a během minuty je provedeno zcela neinvazivní měření, při kterém modré laserové světlo ze skeneru vytváří excitaci hlavních karotenoidů, které se nacházejí v lidské pokožce.

Naměřené hodnoty karotenoidů mají bezrozměrnou jednotku a jsou rozděleny do 3 zón podle výsledku, jak uvádí výrobce. Zóna 1 jsou podprůměrné hodnoty (10 000 – 29 000), zóna 2 jsou průměrné hodnoty (30 000 – 46 000) a zóna 3 nadprůměrné hodnoty (47 000<sup>+</sup>).

Nejsou známy žádné limity pro testování (např. zdravotní stav, těhotenství nebo věk testované osoby).

### 7.3 Způsob statistického zpracování

Ke statistickému zpracování výsledků byl použit počítačový program firmy StatSoft ČR, s.r.o. STATISTICA, verze 13.0. Pro každý sledovaný parametr byly vypočteny základní statistické veličiny (aritmetický průměr, směrodatná odchylka, minimum a maximum). Pro ověření rozdílů mezi muži a ženami byl použit T-test (Studentův T-test). Lineární vztah mezi vybranými stravovacími zvyklostmi (pravidelnost konzumace jídel, konzumace ovoce, zeleniny a šťáv) a hladinou karotenoidů byl hodnocen korelační analýzou. Pomocí Pearsonova chí kvadrátu byly hodnoceny vztahy mezi vybranými stravovacími zvyklostmi a pohlavím. Hladina statistické významnosti byla u všech testů stanovena na úrovni 0,05.

## 8 VÝSLEDKY

Tabulka 9. Průměrné hodnoty karotenoidů u obou pohlaví (N= 40)

|              | Aritmetický průměr | Směrodatná odchylka | p     |
|--------------|--------------------|---------------------|-------|
| Muži (n= 20) | 44 000             | 14 945              | 0,431 |
| Ženy (n= 20) | 41 100             | 6 552               |       |

Vysvětlivky: p – hladina statistické významnosti, T test



Obrázek 3. Zobrazení počtu jedinců, nacházejících se v jednotlivých zónách

V průměru se hodnoty karotenoidů u mužů i žen nacházely v pásmu normy (zóna 2). Analýza dat prokázala, že **mezi hodnotami karotenoidů u mužů a žen není statisticky významný rozdíl** (Tabulka 9). Obrázek 3 zobrazuje, že nadprůměrných hodnot (zóna 3) dosahovalo 9 mužů a 9 žen, avšak podprůměrných hodnot (zóna 1) pouze 1 muž. Zbytek probandů (21) dosahovalo průměrných hodnot (zóna 2).

Tabulka 10. Počet pravidelných jídel během dne (N= 40)

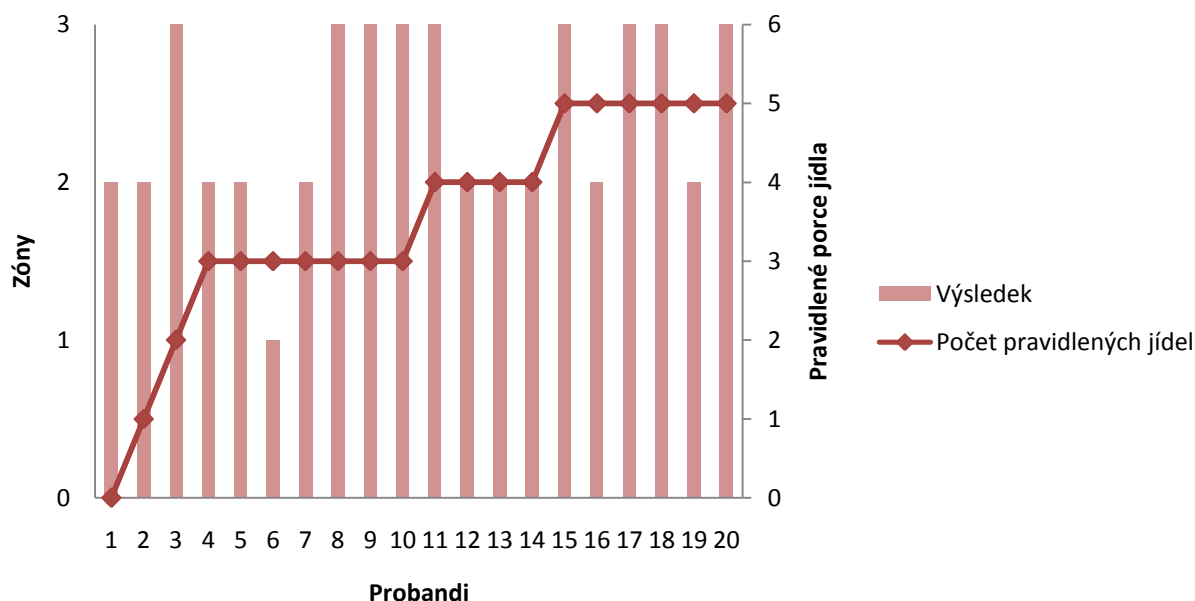
|              | Aritmetický<br>průměr | Směrodatná<br>odchylka | p            |
|--------------|-----------------------|------------------------|--------------|
| Muži (n= 20) | 3,50                  | 1,40                   | <b>0,013</b> |
| Ženy (n= 20) | 2,45                  | 1,146                  |              |

Vysvětlivky: p – hladina statistické významnosti, T test

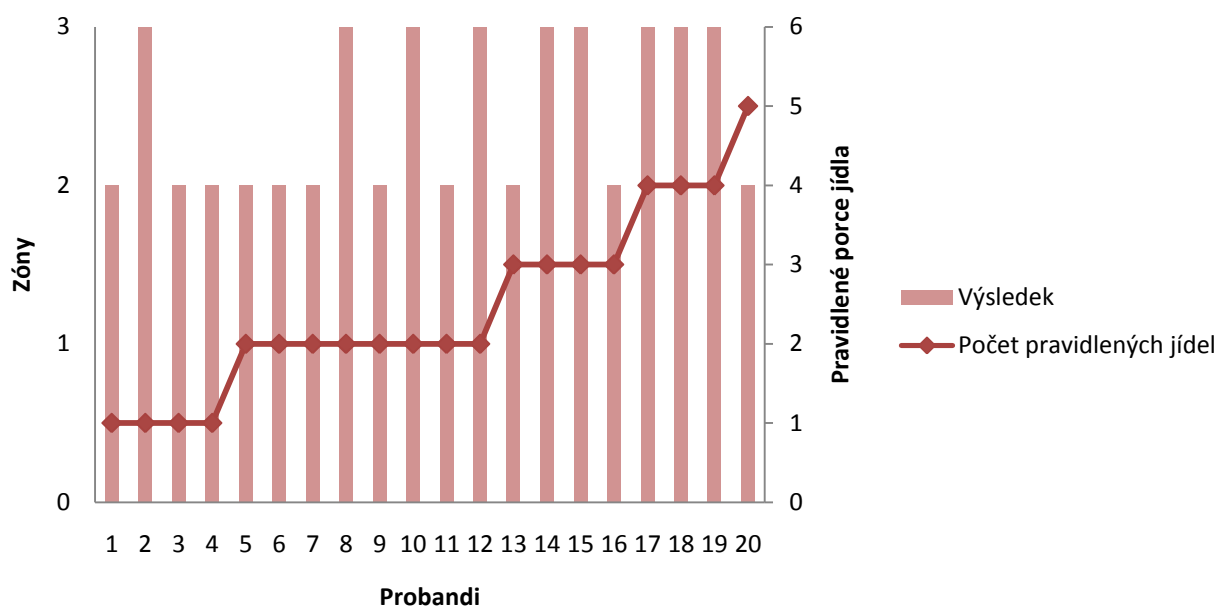
Tabulka 11. Korelace mezi počtem pravidelných jídel a hladinami karotenoidů (N= 40)

|                             | Aritmetický<br>průměr | Směrodatná<br>odchylka | r     | p            |
|-----------------------------|-----------------------|------------------------|-------|--------------|
| Počet<br>pravidelných jídel | 2,98                  | 1,37                   | 0,329 | <b>0,038</b> |
| Hladina<br>karotenoidů      | 42550,00              | 11484,55               |       |              |

Vysvětlivky: r – Pearsonův korelační koeficient, p – hladina statistické významnosti,  
korelace



Obrázek 4. Počet pravidelných jídel v závislosti na hladinách karotenoidů u mužů (n= 20)



Obrázek 5. Počet pravidelných jídel v závislosti na hladinách karotenoidů u žen (n= 20)

Mezi počtem pravidelně konzumovaných jídel byl mezi muži a ženami zjištěn statisticky významný rozdíl (Tabulka 10). V průměru muži konzumovali potravu pravidelněji, než ženy (srovnání Obrázku 2 a Obrázku 3). Stravovací doporučení, které uvádí jako vhodnou pravidelnou konzumaci 5 jídel během dne, však splnilo pouze 7 probandů (6 mužů a 1 žena). Statistické zpracování dat zjistilo, že **platí lineární vztah mezi počtem pravidelných jídel během dne a hladinou karotenoidů** (Tabulka 11).

Tabulka 12. Konzumace zeleniny (porce/den) u obou pohlaví (N= 40)

|              | Aritmetický průměr | Směrodatná odchylka | p     |
|--------------|--------------------|---------------------|-------|
| Muži (n= 20) | 1,50               | 0,83                | 0,849 |
| Ženy (n= 20) | 1,45               | 0,826               |       |

Vysvětlivky: p – hladina statistické významnosti, T test

Tabulka 13. Splněné množství konzumace zeleniny během dne u obou pohlaví (N= 40)

|              | Ano (počet) | Ne (počet) | p     |
|--------------|-------------|------------|-------|
| Muži (n= 20) | 2           | 18         | 0,548 |
| Ženy (n= 20) | 1           | 19         |       |

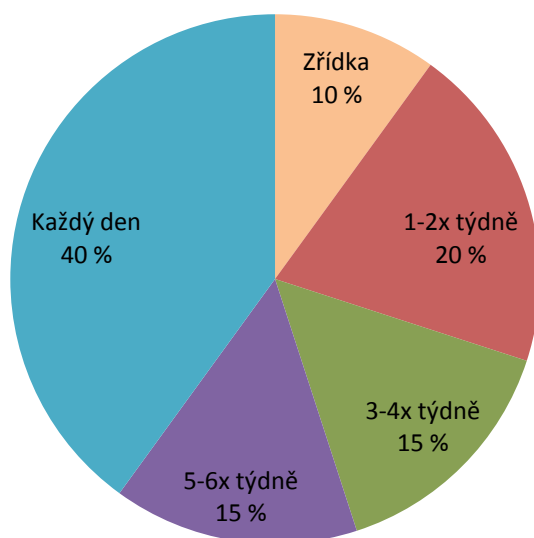
Vysvětlivky: p – hladina statistické významnosti, Pearsonův chí kvadrát

Tabulka 14. Korelace mezi pravidelností konzumace zeleniny a hladin karotenoidů (N = 40)

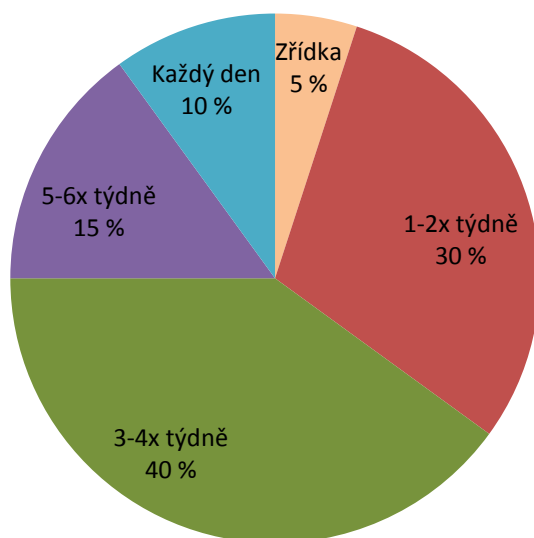
|                                       | Aritmetický průměr | Směrodatná odchylka | r     | p            |
|---------------------------------------|--------------------|---------------------|-------|--------------|
| Pravidelnost zeleniny<br>(3-4x týdně) | 4,25               | 1,279               | 0,371 | <b>0,018</b> |
| Hladina karotenoidů                   | 42550,00           | 11484,55            |       |              |

Vysvětlivky: r – Pearsonův korelační koeficient, p – hladina statistické významnosti, korelace





Obrázek 6. Pravidelnost konzumace zeleniny u mužů (n= 20)



Obrázek 7. Pravidelnost konzumace zeleniny u žen (n= 20)

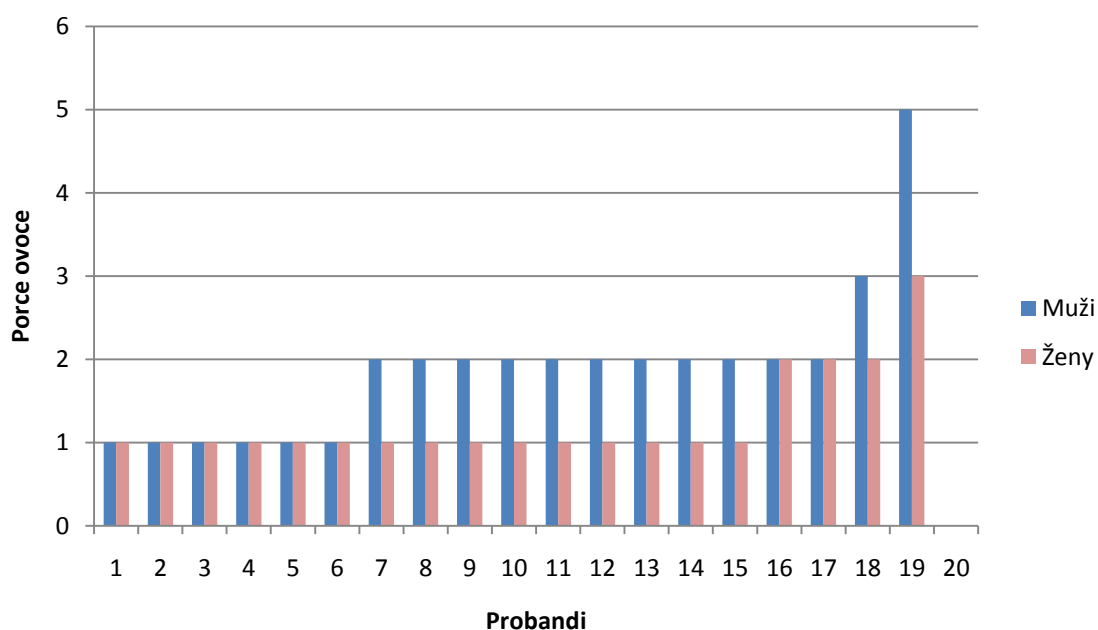
Muži konzumují zeleninu pravidelněji, než ženy (srovnání Obrázku 6 a Obrázku 7). Avšak množství zkonsumovaných porcí zeleniny je téměř stejné u obou pohlaví (Tabulka 12).

Doporučenou denní dávku příjmu zeleniny (3 porce) splňují pouze 2 muži a 1 žena (Tabulka 13). Statistické zpracování dat zjistilo, že **pravidelná konzumace zeleniny má vliv na hladinu karotenoidů v kožní tkáni** (Tabulka 14).

Tabulka 15. Konzumace ovoce (porce/den) u obou pohlaví (N= 40)

|              | Aritmetický průměr | Směrodatná odchylka | p            |
|--------------|--------------------|---------------------|--------------|
| Muži (n= 20) | 1,85               | 0,93                | <b>0,017</b> |
| Ženy (n= 20) | 1,25               | 0,550               |              |

Vysvětlivky: p – hladina statistické významnosti, T test



Obrázek 8. Konzumace porcí ovoce u obou pohlaví

Tabulka 16. Splněné množství konzumace ovoce během dne u obou pohlaví (N= 40)

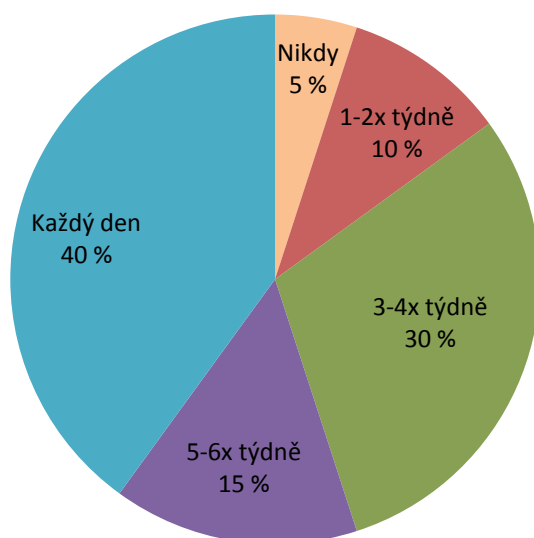
|              | Ano (počet) | Ne (počet) | p    |
|--------------|-------------|------------|------|
| Muži (n= 20) | 7           | 13         | 0,05 |
| Ženy (n= 20) | 2           | 18         |      |

Vysvětlivky: p – hladina statistické významnosti, Pearsonův chí kvadrát

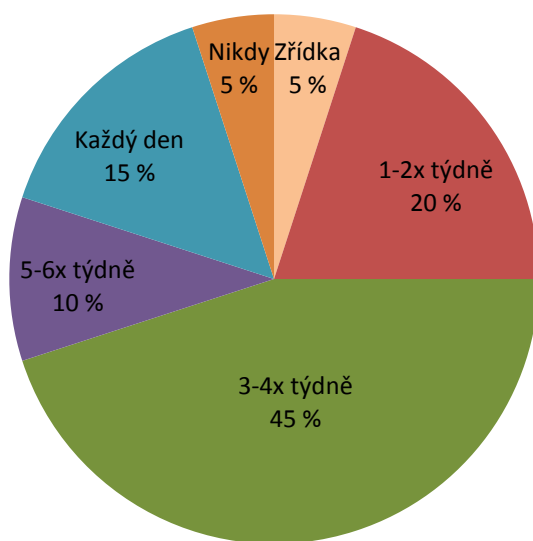
Tabulka 17. Korelace mezi pravidelností konzumace ovoce a hladin karotenoidů (N= 40)

|                     | Aritmetický průměr   | Směrodatná odchylka | r     | p     |
|---------------------|----------------------|---------------------|-------|-------|
| Pravidelnost ovoce  | 4,32<br>(3-4x týdně) | 1,348               | 0,120 | 0,458 |
| Hladina karotenoidů | 42550,00             | 11484,55            |       |       |

Vysvětlivky: r – Pearsonův korelační koeficient, p – hladina statistické významnosti, korelace



Obrázek 9. Pravidelnost konzumace ovoce u mužů (n= 20)



*Obrázek 10.* Pravidelnost konzumace ovoce u žen (n= 20)

Muži konzumují pravidelněji než ženy nejen zeleninu, ale i ovoce (srovnání Obrázku 9 a Obrázku 10). Obrázek 8 také ukazuje, že muži konzumují více porcí zeleniny, než ženy. Doporučenou denní dávku příjmu ovoce (2 porce) splňuje 7 mužů a 2 ženy (Tabulka 16). Statistické zpracování dat zjistilo, že **pravidelná konzumace ovoce nemá vliv na hladinu karotenoidů v kožní tkáni** (Tabulka 17).

Tabulka 18. Konzumace různých druhů šťáv podle pohlaví (N= 40)

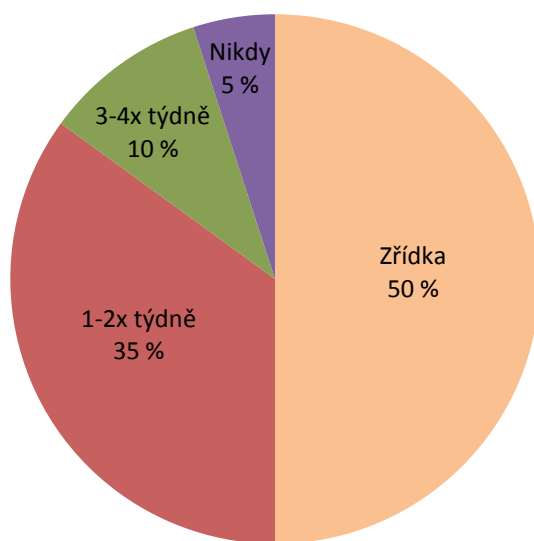
|              | Žádné<br>(počet) | Ovocné<br>(počet) | Zeleninové<br>(počet) | Mix (počet) | p     |
|--------------|------------------|-------------------|-----------------------|-------------|-------|
| Muži (n= 20) | 1                | 16                | 1                     | 2           | 0,545 |
| Ženy (n= 20) | 2                | 14                | 0                     | 4           |       |

Vysvětlivky: p – hladina statistické významnosti, Pearsonův chí kvadrát

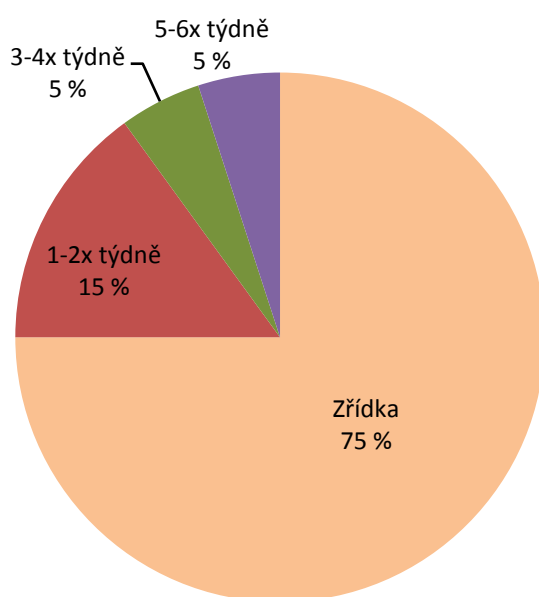
Tabulka 19. Korelace mezi množstvím zkonsumované šťávy a hodnotami karotenoidů (N= 40)

|                        | Aritmetický<br>průměr | Směrodatná<br>odchylka | r      | p     |
|------------------------|-----------------------|------------------------|--------|-------|
| Množství šťávy         | 286,8 (ml)            | 97,79                  | -0,077 | 0,636 |
| Hladina<br>karotenoidů | 42550,00              | 11484,55               |        |       |

Vysvětlivky: r – Pearsonův korelační koeficient, p – hladina statistické významnosti, korelace



Obrázek 11. Pravidelnost konzumace šťáv u mužů (n= 20)



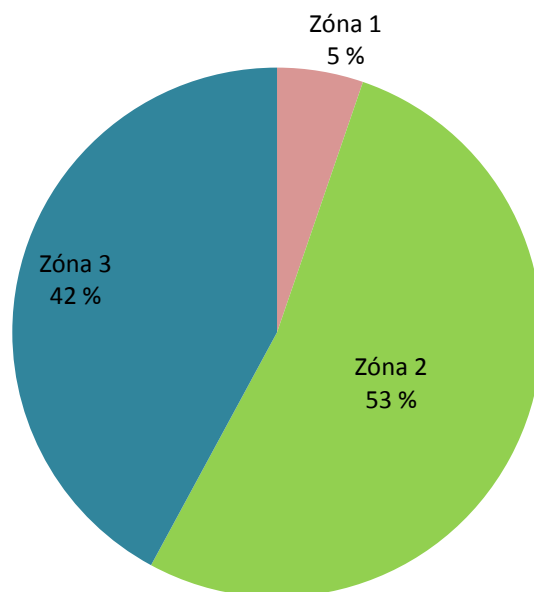
Obrázek 12. Pravidelnost konzumace šťáv u žen (n= 20)

Oběma pohlavími byly konzumovány nejvíce ovocné šťávy. Pouze tři lidé nekonzumovali žádné druhy šťáv (Tabulka 18). Pravidelnost konzumace se u obou pohlaví lišila, avšak muži i ženy konzumují různé druhy šťáv pouze zřídka (Obrázek 11 a Obrázek 12). Statistické zpracování dat zjistilo, že **množství zkonsumované šťávy nemá vliv na hladinu karotenoidů v kožní tkáni** (Tabulka 19).

Tabulka 20. Užívání potravinových doplňků u obou pohlaví (N= 40)

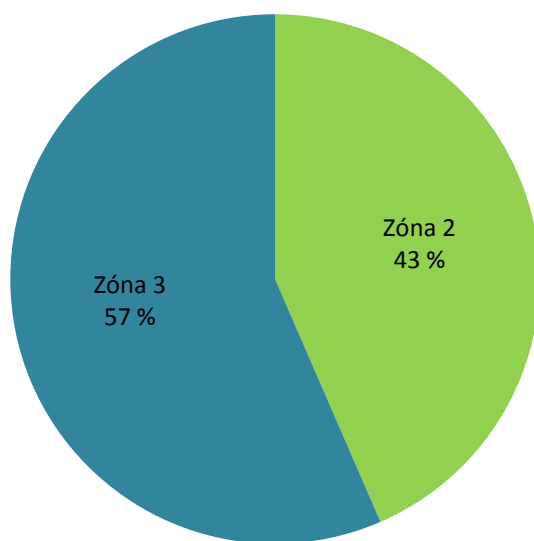
|              | Ano (počet) | Ne (počet) | p     |
|--------------|-------------|------------|-------|
| Muži (n= 20) | 12          | 8          | 0,592 |
| Ženy (n= 20) | 9           | 11         |       |

Zkratky: p – hladina statistické významnosti, Pearsonův chí kvadrát



Obrázek 13. Zónové zastoupení hodnot karotenoidů u osob, které neužívají potravinové doplňky (n= 19)





*Obrázek 14. Zónové zastoupení hodnot karotenoidů u osob, které užívají potravinové doplňky (n= 21)*

Celkem 21 účastníků doplňky stravy užívá, zbylých 19 nikoliv. **Mezi hodnotami karotenoidů osob, které užívají a neužívají potravinové doplňky, nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl** (Tabulka 20). Obrázek 13 a Obrázek 14 srovnává klasifikace výsledků mezi uživateli a neuživateli doplňků stravy.

## 9 DISKUZE

Hladina karotenoidů v kožní tkáni je ukazatelem antioxidační schopnosti organismu. Jinak řečeno stanoví, do jaké míry jsme schopni bojovat proti volným radikálům. Mého výzkumu se zúčastnilo celkem 40 aktivně sportujících vysokoškolských studentů (40 účastníků, průměrný věk 22 let).

Účastníkům výzkumu byla naměřena průměrná hodnota  $42\,550 \pm 11\,340$ . Podobný výzkum byl proveden v roce 2009 v Číně (Duan, Lu, Li, & Zhu, 2009). Kritéria měření byla velmi podobná s mými. Jednalo se o mladé vrcholové sportovce (59 účastníků, průměrný věk 19,6 let). Naměřené hodnoty čínských sportovců byly v průměru  $32\,695 \pm 1\,250$ . Jednoznačně nižší, než uvádí můj výzkum. Což je překvapivé především z hlediska rozdílu stravovacích návyků každého kontinentu. Asiaté jsou známi zvýšeným příjmem ovoce a zeleniny (2,59 porce/den), jak uvádí Smidt (2003). Jeho výzkumu se zúčastnilo celkem 1375 pracujících osob. Průměrné hodnoty všech zúčastněných byly pouze 19 072. Smidt prokázal, že čím více porcí ovoce a zeleniny lidé denně zkonzumují, tím vyšší budou mít hladinu karotenoidů. Toto tvrzení se u mne neprokázalo.

Hladinu karotenoidů ovlivňuje spousta faktorů. Jsou to stravovací návyky, doplňky stravy, genetické rozdíly v absorbování karotenoidů, expozice slunečním zářením a kouření cigaret. Dále jsou to faktory provozní. Kalibrace, umístění ruky, čistota skenerového přístroje, teplota a povětrnostní podmínky mohou mít na měření vliv.

Mé anketní šetření zahrnovalo i otázky ohledně doplňků stravy. Pro jejich velkou rozmanitost však nemohla být provedena korelace s hodnotami karotenoidů. Byl vypočítán pouze Pearsonův chí kvadrát, který určil souvislost mezi uživateli či neuživateli potravinových doplňků. Nebyla zjištěna statisticky významná hodnota.

O poměrně vysokých hladinách karotenoidů, které byly naměřeny, můžeme polemizovat. Jedna z hypotéz je, že zkoumaná skupina jedinců byla převážně sportovně zaměřena. Účastnili se pouze mladí lidé, kteří aktivně provozovali kolektivní sportovní činnost a starali se o své zdraví.

### 9.1 Limity práce

Výsledky mohly být zkresleny nepravdivou výpovědí v anketním šetření, či provozními problémy Biofotonického skeneru S3 (více měření po sobě, přehřátí přístroje...).

Dalším limitem mohl být nedostatečný počet zkoumaných jedinců.

## 10 ZÁVĚRY

Hlavním cílem práce bylo změřit hladinu karotenoidů u vybrané skupiny jedinců. Výzkumné otázky, které byly stanoveny, porovnávají vztah mezi stravovacími zvyklostmi a hodnotami karotenoidů v kůži. Dále byly pozorovány rozdíly mezi ženami a muži v anketní výpovědi.

Průměrná hladina karotenoidů byla u mužů stejná, jak u žen. Nebyl tedy shledán statisticky významný rozdíl.

Po výpočtu BMI u každého jedince bylo zjištěno, že 7 mužů má nadváhu a 1 dokonce obezitu I. stupně. Ženy mají mnohem příznivější hodnoty. Pouze 1 žena má nadváhu a 1 naopak podváhu. Zbýlých 18 má normální hmotnost. Avšak Body mass index nelze brát jako absolutní ukazatel. Do výpočtu nevstupují důležité faktory jako například stavba těla, množství svalstva apod.

První výzkumná otázka byla věnována souvislosti mezi hodnotami karotenoidů a pravidelné konzumaci potravy. Zde byla vypočítána statisticky významná hodnota a platí tedy lineární vztah.

Další souvislost s nárůstem karotenoidů byla shledána u pravidelné konzumace zeleniny. Naopak u pravidelné konzumace ovoce se tento fakt nepotvrdil.

Dále bylo u respondentů zjištěno, že množství zkonsumované šťávy nemá vliv na hodnoty karotenoidů.

Překvapivé však je, že užívání doplňků stravy nemělo příliš velký vliv na hladinu karotenoidů. Analýza však bohužel nemohla zohlednit jednotlivé doplňky stravy, jelikož v nich panovala velká rozmanitost. Pracovala pouze s jejich uživateli a neuživateli.

Mezi další zkoumané parametry patřila také analýza výpovědí v anketním šetření mezi muži a ženami. Bylo zjištěno, že muži mají pravidelnější přísun potravy, než ženy. Jedí více porcí ovoce a také jich více splňuje doporučenou denní dávku ovoce (7 mužů a 2 ženy). Totožný u obou pohlaví je příjem porcí zeleniny. Doporučenou denní dávku porcí zeleniny splňují pouze 3 probandi (2 muži a 1 žena). Konzumace šťávy nebyla u obou pohlaví moc častá. Většinou ji konzumovali pouze zřídka.

Výsledky práce jsou překvapivé v tom, že i přes nedostatečný příjem ovoce a zeleniny, byly naměřeny uspokojivé výsledky v hodnotách karotenoidů. Je potřeba si uvědomit, že jejich hladina je individuální.

## 11 SOUHRN

Volné radikály jsou molekuly, které obsahují alespoň jeden nepárový elektron. Takové částice jsou nestabilní, reaktivní a poškozují buňky v organismu. Vznikají díky nejrůznějším endogenním či exogenním zdrojům. Například z UV záření, cigaretového kouře, hyperglykémie, vzniku kyseliny močové (při úrazech, nekrotách a pooperačních stavech) a dalších. Volné radikály jsou zodpovědné za vznik nejrůznějších chorob, zánětů a nádorů. Porušují imunitní systém, DNA a zrychlují proces stárnutí. Přesto jsou však pro organismus nepostradatelné. Účastní se důležitých reakcí, které zajišťují zdravé fungování organismu. Například přenosu energie, enzymovým mechanismům a buněčné regulace. Reaktivní formy kyslíku a dusíku, které vznikají díky metabolické aktivitě volných radikálů, působí jako fagocyty proti bakteriím a cizím látkám. Přesto je však dobré dbát na rovnováhu mezi volnými radikály a antioxidanty.

Nadbytek radikálů způsobuje oxidační stres, jehož škodlivé působení eliminují účinky antioxidačních látek. Jedná se například o vitaminy, karotenoidy a enzymy (superoxiddismutáza, kataláza, glutathionperoxidáza). Nepostradatelným antioxidantem je vitamin C, který se nachází zejména v citrusových plodech. Dále vitamin E, obsažený v rostlinných olejích, obilných výrobcích, vepřovém masu, játrech a dalších. Kromě vitaminů mají antioxidační vlastnosti také ubichinon, glutathion, kyselina lipoová, melatonin, urát a přírodní pigmenty zvané karotenoidy. Mezi ně se řadí  $\alpha$ -karoten, lykopen, lutenin, zeaxantin,  $\beta$ -kryptoxantin a známý  $\beta$ -karoten.

Hlavním cílem v praktické části bylo změřit hodnoty karotenoidů u vybrané skupiny jedinců a porovnat je s jejich stravovacími zvyklostmi. Zejména s konzumací ovoce a zeleniny.

V práci jsme vycházeli z výpovědí anketního šetření, které vyplňoval každý jedinec. Výzkumu se zúčastnilo celkem 40 sportujících vysokoškolských studentů. 20 mužů a 20 žen.

Průměrná hladina karotenoidů u mužů a žen se nacházela v pásmu normy a nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi pohlavími.

Za nejvýznamnější zjištění lze označit fakt, že i přes nedostatečný příjem ovoce a zeleniny (pouze jeden proband splňuje doporučenou denní dávku ovoce a zeleniny) u zkoumaných jedinců, byly naměřeny poměrně vysoké hodnoty karotenoidů. V užívání doplňků stravy nebyl prokázán lineární vztah s hodnotami karotenoidů. Tento fakt může být vysvětlen nepravdivou výpovědí v anketním šetření.

## 12 SUMMARY

Free radicals are molecules which contain at least one unpaired electron. Such particles are unstable, reactive and damage organism cells. They are created thanks to various endogenous and exogenous sources. UV radiation, cigarette smoke, hyperglycemia, creation of uric acid (occurring within injuries, necroses and postoperative states) and more, for example. Free radicals are responsible for a variety of diseases, inflammations and tumors. They corrupt the immune system and DNA and speed up the process of aging. However, for the organism they are indispensable. They participate in important reactions which ensure the organism's healthy functioning such as energy transmission, enzyme mechanisms and cellular regulations. Reactive forms of oxygen and nitrogen created as a result of free radicals' metabolic activity function as phagocytes against bacteria and foreign substances. Nevertheless, it is better to keep balance between free radicals and antioxidants.

Excess of radicals causes oxidative stress. Its harmful influences are eliminated by the effects of antioxidant substances such as vitamins, carotenoids and enzymes (superoxide dismutase, catalase, glutathione peroxidase). An irreplaceable antioxidant is vitamin C which can be found especially in citrus fruits. Another one is vitamin E which is contained in vegetable oils, cereal products, pork meat, liver and more. Besides vitamins, antioxidative properties can be found in ubiquinone, glutathione, folic acid, melatonin, urate and natural pigments called carotenoids. Among them are  $\alpha$ -carotene, lycopene, lutein, zeaxanthin,  $\beta$ -cryptoxanthin and a well-known  $\beta$ -carotene.

The primary goal in the practical section was to measure values of carotenoids within a selected group of individuals and compare them with their eating habits, especially with their consumption of fruits and vegetables.

The thesis was based on answers from a survey filled in by each individual. 40 athletic university students consisting of 20 males and 20 females took part in the research. The average level of carotenoids with both males and females was in a normal range and no statistically significant difference has been discovered between the two sexes.

The most notable finding could be considered the fact that despite insufficient income of fruits and vegetables (only one proband meets the recommended daily dose of fruits and vegetables) of examined individuals, relatively high levels of carotenoids were measured. There has not been proven a linear relationship between dietary supplement usage and the levels of carotenoids. This fact could be explained with false responses in the survey.

### 13 REFERENČNÍ SEZNAM

- Balzer, I., & Hardeland, R. (1996). Melatonin in Algae and Higher Plants- Possible New Roles as a Phytohormone and Antioxidant. *Plant Biology*, 109(3), 180–183.
- Barta, E., Pechan, I., Cornak, V., Luknarova, O., Rendekova, V., & Verchovodko, P. (1991). Protective effect of alpha-tocopherol and L-ascorbic acid against the ischemic-reperfusion injury in patients during open-heart surgery. *Bratislavské Lekárske Listy*, 92(3–4), 174–183.
- Becker, B. F. (1993). Towards the physiological function of uric acid. *Free Radical Biology and Medicine*, 14(6), 615–631.
- Béliveau, R. & Gingras, D. (2008). *Výživa ako zbraň proti rakovine*. Bratislava: Balneotherma.
- Cross, C. E., Motchnik, P. A., Bruener, B. A., Jones, D. A., Kaur, H., Ames, B. N., & Halliwell, B. (1992). Oxidative damage to plasma constituents by ozone. *FEBS Letters*, 298(2–3), 269–287.
- Davies, K. J., Sevanian, A., Muakkassah-Kelly, S. F., & Hochstein, P. (1986). Uric acid-iron ion complexes. A new aspect of the antioxidant functions of uric acid. *Biochemical Journal*, 235(3), 747–754.
- Duan, L., Lu, J., Li, G., & Zhu, J. S. (2009). Improvement of Skin Carotenoids Antioxidant Scores with G3 Drink and LifePak is affected by Endurance Training Intensity in Young Athletes. *The FASEB Journal*, 23(1), 1007–3.
- Duell, P. B., Wheaton, D. L., Shultz, A., & Nguyen, H. (1998). Inhibition of LDL oxidation by melatonin requires supraphysiologic concentrations. *Clinical Chemistry*, 44(9), 1931–1936.
- EFSA. (2017). Dietary reference Values for nutrients. Summary report. Retrieved from <https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/2017>.
- Engelhart, M. J., Geerlings, M. I., Ruitenber, A., van Swieten, J. C., Hofman, A., Witteman, J. C., & Breteler, M. M. (2002). Dietary intake of antioxidants and risk of Alzheimer disease. *Jama*, 287(24), 3223–3229.

- Francis, J. W., Hosler, B. A., Brown, R. H., & Fishman, P. S. (1995). CuZn superoxide dismutase (SOD-1): tetanus toxin fragment C hybrid protein for targeted delivery of SOD-1 to neuronal cells. *Journal of Biological Chemistry*, 270(25).  
<https://doi.org/10.1074/jbc.273.52.34710>
- Gaetani, G. F., Ferraris, A. M. Rolfo, M., Mangerini, R., Arena, S., & Kirkman, H. N. (1996). Predominant role of catalase in the disposal of hydrogen peroxide within human erythrocytes. *Blood*, 87(4), 1595–1599.
- Galley, H. F., Howdle, P. D., Walker, B. E., & Webster, N. R. (1997). The effects of intravenous antioxidants in patients with septic shock. *Free Radical Biology and Medicine*, 23(5), 768–774.
- Gerster, H. (1997). The potential role of lycopene for human health. *Journal of the American College of Nutrition*, 16(2), 109–126.
- Hanaki, Y., Sugiyama, S., Ozawa, T., Ohno, M. (1993). Coenzyme Q10 and coronary artery disease. *Clin Investing*, 71(8), S112–S115.
- Heinrich K. (2015). *Výživa v medicíně a dietetika*. Praha 7: Grada Publishing, a.s.
- Hlúbik, P., Opltová, L. (2004). *Vitaminy*. Praha 7: Grada Publishing, a.s.
- Hřebíčková Š. (2009). Antioxidanty a volné radikály: rozdělení, jejich kapacita a aktivita. *Výživa a Potraviny*, 64(2), 30–32. Retrieved from <http://www.vyzivaspol.cz/vyziva-a-potraviny-22009/>
- Huizer, T., de Jong, J. W., Nelson, J. A., Czarnecki, W., Serruys, P. W., Bonnier, J. J., & Troquay, R. (1989). Urate production by human heart. *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*, 21(7), 691–695.
- Jenner, P. (1993). Altered mitochondrial function, iron metabolism and glutathione levels in Parkinson's disease. *Acta Neurologica Scandinavica. Supplementum*, 146, 6–13.
- Kalač, P. (2009). Lykopen a tomatin v rajčatech. *Výživa a Potraviny*, 64(4), 89–91.
- Kelly, M. R., & Loo, G. (1997). Melatonin inhibits oxidative modification of human low density lipoprotein. *Journal of Pineal Research*, 22(4), 203–209.
- Kincl M., & K. V. (2006). *Základy fyziologie rostlin* (3rd ed.). Ostrava: Ostravská univerzita.

- Klipstein-Grobusch, K., Geleijnse, J. M., den Breeijen, J. H., Boeing, H., Hofman, A., Grobbee, D. E., & Witteman, J. C. (1999). Dietary antioxidants and risk of myocardial infarction in the elderly: the Rotterdam Study-. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 69(2), 261–266.
- Konopka, P. (2004). *Sportovní výživa*. České Budějovice: KOPP.
- Kritchevsky, S. B. (1999).  $\beta$ -Carotene, carotenoids and the prevention of coronary heart disease. *The Journal of Nutrition*, 129(1), 5–8.
- Leichtweis, S. B., Leeuwenburgh, C., Parmelee, D. J., Fiebig, R., & Ji, L. L. (1997). Rigorous swim training impairs mitochondrial function in post-ischaemic rat heart. *Acta Physiologica*, 160(2), 139–148.
- Levy, S. L., Burnham, W. M., Bishai, A., & Hwang, P. A. (1992). The anticonvulsant effects of vitamin E: a further evaluation. *Canadian Journal of Neurological Sciences*, 19(2), 201–203.
- Lorenzo, Y., Azqueta, A., Luna, L., Bonilla, F., Domínguez, G., & Collins, A. R. (2008). The carotenoid  $\beta$ -cryptoxanthin stimulates the repair of DNA oxidation damage in addition to acting as an antioxidant in human cells. *Carcinogenesis*, 30(2), 308–314.
- Mandelker, L. (2009). *Veterinary clinics of North America. Praxe malých zvířat*. Praha: Pierot, spol. s r. o.
- Mangels, A. R., Block, G., Frey, C. M., Patterson, B. H., Taylor, P. R., Norkus, E. P., & Levander, O. A. (1993). The bioavailability to humans of ascorbic acid from oranges, orange juice and cooked broccoli is similar to that of synthetic ascorbic acid. *The Journal of Nutrition*, 123(6), 1054–1061.
- Maples, K. R., & Mason, R. P. (1988). Free radical metabolite of uric acid. *Journal of Biological Chemistry*, 263(4), 1709–1712.
- Marko, A., Rakická, M., & Šturdík, E. (2015). Funkčné zložky cereálií účinné v prevenci civilizačných ochorení. *Chemicke Listy*, 109(1), 21–28.
- Maxwell, S. R. J., Jakeman, P., Thomason, H., Leguen, C., & Thorpe, G. H. G. (1993). Changes in plasma antioxidant status during eccentric exercise and the effect of vitamin supplementation. *Free Radical Research Communications*, 19(3), 191–202.



- Melhus, H., Michaëlsson, K., Holmberg, L., Wolk, A., & Ljunghall, S. (1999). Smoking, antioxidant vitamins, and the risk of hip fracture. *Journal of Bone and Mineral Research*, *14*(1), 129–135.
- Milani, A., Basirnejad, M., Shahbazi, S., & Bolhassani, A. (2017). Carotenoids: biochemistry, pharmacology and treatment. *British Journal of Pharmacology*, *174*(11), 1290–1324. <https://doi.org/10.1111/bph.13625>
- Mindell, E., & Mundisová, H. (2006). *Nová vitaminová bible*. Praha: Ikar.
- Mindell, E. (2000). *Vitaminová bilbe pro 21. století* (1st ed.). Praha: Euromedia Group k. s.
- Müllerová, D. (2014). *Hygiena, preventivní lékařství a veřejné zdravotnictví*. Praha: Karolinum.
- Murray, R. K. (2009). *Harper's Illustrated Biochemistry*.
- Paiva, S. A., & Russell, R. M. (1999).  $\beta$ -carotene and other carotenoids as antioxidants. *Journal of the American College of Nutrition*, *18*(5), 426–433. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/07315724.1999.10718880>
- Pecháň, I. (1995). Kyselina močová ako významný antioxidantný metabolit. *Klinická Biochemie a Metabolismus*, *3*, 207–210.
- Pláteník, J. (2009). Volné radikály, antioxidanty a stárnutí. *Interní Medicína pro Praxi*, *11*(1), 30–33.
- Pospiech M., Vaculíková J., Ošťádolová M., T. B. (2014). Srovnání obsahu  $\beta$ -karotenu u tuzemských a zahraničních meruňek. *Výživa a Potraviny*, (3), 58–60.
- Racek, J. (2003). *Oxidační stres a možnosti jeho ovlivnění*. Praha: Galén.
- Racek, J., & Holeček, V. (1999). Enzymy a volné radikály. *Chemické Listy*, *93*(12), 774–780.
- Reiter, R. J., Carneiro, R. C., & Oh, C. S. (1997). Melatonin in relation to cellular antioxidative defense mechanisms. *Hormone and Metabolic Research*, *29*(8), 363–372.
- Rice-Evans, C., & Bruckdorfer, K. R. (1992). Free radicals, lipoproteins and cardiovascular dysfunction. *Molecular Aspects of Medicine*, *1*(13), 5–25.

- Roodenburg, A. J., Leenen, R., Hof, K. H., Weststrate, J. A., & Tijburg, L. B. (2000). Amount of fat in the diet affects bioavailability of lutein esters but not of alpha-carotene, beta-carotene, and vitamin E in humans...including commentary by Traber MG. *American Journal of Clinical Nutrition*, 71(5), 1187–1030. <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.5.1187>
- Röth, E., Török, B., Kelemen, D., & Pollak, S. (1989). Free radical mediated injuries after coronary artery occlusion. *Basic Research in Cardiology*, 84(4), 388–395.
- Russell, R. M. (2000). The vitamin A spectrum: from deficiency to toxicity. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71(4), 878–884.
- Salonen, J. T., Nyyssonen, K., Tuomainen, T. P., Maenpaa, P. H., Korpela, H., Kaplan, G. A., ... & Salonen, R. (1995). Increased risk of non-insulin dependent diabetes mellitus at low plasma vitamin E concentrations: a four year follow up study in men. *Bmj*, 311(7013), 1124–1127.
- Sedláček P., Langmajerová J., Z. Z. (2013). Aktuální poznatky o významu antioxidantů ve výživě. *Výživa a Potraviny*, 68(5), 130–132.
- Sies, H., & Murphy, M. E. (1991). Role of tocopherols in the protection of biological systems against oxidative damage. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 8(2), 211.
- Smidt, C. R. (2003). Clinical screening study: Use of the Pharmanex® biophotonic scanner to assess skin carotenoids as a marker of antioxidant status.
- Spear N., Aust, S. D. (1995). Effects of glutathione on Fenton reagent-dependent radical production and DNA oxidation. *Arch Biochem Biophys*, 324(1), 111–6.
- Surh, YJ., Chun, KS., Cha, HH., Han, SS., Keum, YS., Park, KK., Lee, S. (2001). Molecular mechanisms underlying chemopreventive activities of anti-inflammatory phytochemicals: down-regulation of COX-2 and iNOS through suppression of NF-kappa B activation. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 480(1), 243–268.
- Šivel, M., Klejdus, B., Kráčmar, S., & Kubáň, V. (2013). Lutein - Významný karotenoid ve výživě člověka. *Chemické Listy*, 107(6), 456–463.

- Štípek S., Borovanský J., Čejková J., Homolka J., Klener P., Lukáš M., Špičák J., Štípek S., Tesar V., Zeman M., Zima T., Ž. A. (2000). *Antioxidanty a volné radikály ve zdraví a v nemoci* (1st ed.). Praha 7: Grada Publishing, spol. s. r. o.
- Terry, P., Lichtenstein, P., Feychting, M., Ahlbom, A., & Wolk, A. (2001). Fatty fish consumption and risk of prostate cancer. *The Lancet*, *357*(9270), 1764–1766.
- Thome, J., Foley, P., Gsell, W., Davids, E., Wodarz, N., Wiesbeck, G. A. ... Riederer, P. (1997). Increased concentrations of manganese superoxide dismutase in serum of alcohol-dependent patients. *Alcohol Alcoholism*, *37*, 65–67.
- Toniolo, P., Van Kappel, A. L., Akhmedkhanov, A., Ferrari, P., Kato, I., Shore, R. E., & Riboli, E. (2001). Serum carotenoids and breast cancer. *American Journal of Epidemiology*, *153*(12), 1142–1147.
- Topliss, J. G., Clark, A. M., Ernst, E., Hufford, C. D., Johnston, G. A. R., Rimoldi, J. M., & Weimann, B. J. (2002). Natural and synthetic substances related to human health (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, *74*(10), 1957–1985.
- Traber, M. G. (1999). Utilization of vitamin E. *Biofactors*, *10*(2–3), 115–120.
- Usui, A., Kato, K., Tsuboi, H., Sone, T., Sassa, H., & Abe, T. (1991). Concentration of Mn-superoxide dismutase in serum in acute myocardial infarction. *Clinical Chemistry*, *37*, 458–461.
- Václava Kunová. (2015). Lutein. Retrieved from <http://www.vyzivaspol.cz/lutein/>
- Wagner, K. H., Kamal-Eldin, A., & Elmadfa, I. (2004). Gamma-tocopherol—an underestimated vitamin? *Annals of Nutrition and Metabolism*, *48*(3), 169–188.
- Wang, D., Kreutzer, D. A., & Essigmann, J. M. (1998). Mutagenicity and repair of oxidative DNA damage: insights from studies using defined lesions. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, *1*(400), 99–115.
- Ylikoski, T., Piirainen, J., Hanninen, O., & Penttinen, J. (1997). The effect of coenzyme Q10 on the exercise performance of cross-country skiers. *Molecular aspects of medicine. Molecular Aspects of Medicine*, *18*, 283–290.

Zandi, P. P., Anthony, J. C., Khachaturian, A. S., Stone, S. V., Gustafson, D., Tschanz, J. T., ... & Breitner, J. C. (2004). Reduced risk of Alzheimer disease in users of antioxidant vitamin supplements: the Cache County Study. *Archives of Neurology*, *61*(1), 82–88.

## **14 PŘÍLOHY**

Příloha 1. Informovaný souhlas

Příloha 2. Anketa

## Informovaný souhlas

**Název studie (projektu): Význam antioxidantů ve stravě: karotenoidy**

Jméno:

Datum narození:

Účastník byl do studie zařazen pod číslem:

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

Podpis účastníka:

Podpis studenta pověřeného touto studií

Podpis osoby zodpovědné za výzkum:

PhDr. Iva Klimešová, Ph.D.,

kontakt: iva.klimesova@upol.cz, tel: 585 636 159

Datum:

## Příloha 2.

Vážené studentky/studenti,

jmenuji se Tereza Matoušková a studuji třetí ročník Fakulty tělesné kultury. Obracím se na Vás s prosbou o vyplnění krátkého dotazníku, který je zaměřen především na aktuální konzumaci ovoce a zeleniny během vašeho dne.

Zpracování dotazníku proběhne anonymně a výsledky z něj budou použity výhradně pro moji závěrečnou práci.

Věk:

Pohlaví: **Ž**  **M**

Hmotnost:

Výška:

1. Jste zvyklý/á snídat?

| Nikdy | Zřídka | 1-2/týdně | 3-4/týdně | 5-6/ týdně | Pravidelně každý den |
|-------|--------|-----------|-----------|------------|----------------------|
|       |        |           |           |            |                      |

2. Jste zvyklý/á mít dopolední svačinu?

| Nikdy | Zřídka | 1-2/týdně | 3-4/týdně | 5-6/týdně | Pravidelně každý den |
|-------|--------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
|       |        |           |           |           |                      |

3. Jste zvyklý/á obědvat?

| Nikdy | Zřídka | 1-2/týdně | 3-4/týdně | 5-6/týdně | Pravidelně každý den |
|-------|--------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
|       |        |           |           |           |                      |

4. Jste zvyklý mít odpolední svačinu?

| Nikdy | Zřídka | 1-2/týdně | 3-4/týdně | 5-6/týdně | Pravidelně každý den |
|-------|--------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
|       |        |           |           |           |                      |

5. Jste zvyklý/á večeřet?

|       |        |           |           |           |                      |
|-------|--------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Nikdy | Zřídka | 1-2/týdně | 3-4/týdně | 5-6/týdně | Pravidelně každý den |
|       |        |           |           |           |                      |

6. Jste zvyklý/á jíst ovoce?

|       |        |           |           |           |                      |
|-------|--------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Nikdy | Zřídka | 1-2/týdně | 3-4/týdně | 5-6/týdně | Pravidelně každý den |
|       |        |           |           |           |                      |

7. Kolik porcí ovoce obvykle denně sníte? (1 porce = jedlá část 1 ks ovoce střední velikosti nebo 2 ks menší velikosti)

|       |         |        |         |         |                |
|-------|---------|--------|---------|---------|----------------|
| Nejím | 1 porci | 2porce | 3 porce | 4 porce | 5 a více porcí |
|       |         |        |         |         |                |

8. Jste zvyklý/á jíst zeleninu?

|       |        |           |           |           |                      |
|-------|--------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Nikdy | Zřídka | 1-2/týdně | 3-4/týdně | 5-6/týdně | Pravidelně každý den |
|       |        |           |           |           |                      |

9. Kolik porcí zeleniny obvykle denně sníte? (1 porce=1 miska čerstvé nebo mražené zeleniny, 1 ks zeleniny střední velikosti)

|       |         |        |         |         |                |
|-------|---------|--------|---------|---------|----------------|
| Nejím | 1 porci | 2porce | 3 porce | 4 porce | 5 a více porcí |
|       |         |        |         |         |                |

10. Jste zvyklý pít ovocné či zeleninové šťávy?

|       |        |           |           |           |                      |
|-------|--------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Nikdy | Zřídka | 1-2/týdně | 3-4/týdně | 5-6/týdně | Pravidelně každý den |
|       |        |           |           |           |                      |

10.1. Pokud alespoň 1x týdně, kterému druhu dáváte přednost:

|        |            |     |
|--------|------------|-----|
| Ovocné | Zeleninové | Mix |
|        |            |     |



10.2. Pokuste se odhadnout průměrné množství jedné porce:

| 100ml | 200ml | 300ml | 400ml | 500ml |
|-------|-------|-------|-------|-------|
|       |       |       |       |       |

11. Brání vám něco v konzumaci ovoce nebo zeleniny? (chronické onemocnění, trávicí potíže, nežádoucí reakce, specifická dieta, alergie apod.)

Ano: .....

Ne

12. Užíváte v současné době nějaké potravinové doplňky? (především minerální látky nebo vitamíny) Pokud ano, vypište které a jak často.

Ano: .....

Ne