Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze
Katedra antropologie a genetiky člověka

BMI a procento tuku u sportovců z vybraných druhů sportů

Renata Cinibulková

Bakalářská práce
Praha 2007

Školitel: Doc. RNDr. Pavel Bláha, CSc.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a pramenů.

Praha, 26 2007 podpis:.....

Na tomto místě bych ráda poděkovala Doc. Pavlu Bláhovi za jeho pomoc při shromažďování literatury a poskytnutí rad.

Abstrakt

Otázka optimální hmotnosti trápí nejen obyčejného člověka, který by se rád vyrovnal proklamovaným ideálům krásy. Nereálné představy o ideální postavě vychází i z řad sportovců. Adekvátní hmotnost ve vztahu k výšce, věku, pohlaví a fyzické aktivitě je pro mnohé ukazatelem nejen krásy, ale i výkonnosti a zdraví.

Zatímco BMI poskytuje orientační představu o množství tuku a tedy i zdravotních komplikacích člověka, k objektivnímu zhodnocení zdravé hmotnosti u konkrétní osoby je třeba stanovit tělesné složení a somatotyp. To je také důležité u sportovců, pro které neplatí tradiční hodnoty BMI, které byly odvozené z fyzicky neaktivní populace se sedavým zaměstnáním. Pro atlety je ideální hmotnost důležitá nejen z hlediska zdraví, ale také z hlediska výkonu. Stejně tak se liší mezi jednotlivými skupinami sportů optimální míra podílu tuku.

Abstrakt

Not only common man who would like achieve proclaim ideal of beauty is suffering from the question of optimal body mass but also athlets have unreal ideas of ideal physique. Adequate body mass in the rate of body height, age, sex and physical aktivity are indicators not only of beauty but also of performance and health.

While BMI provides only rude estimation of body fat thus also of health complication, it is needed to determine body composition and somatotyp for objective estimation of health body mass in given subject. It is important especially in athletes, because commonly used values of BMI were derived from non-active population with sedentary occupation and thus don't fit for athlets. The ideal body mass is important for athlets not only from standpoint of health, but also from standpoint of performance. Optimal body fat differ among given groups of sport as well.

Klíčová slova

Klíčová slova: BMI, tuk, snížená hmotnost, nadměrná hmotnost, obezita, složení těla, metody stanovení tuku, somatotyp, antropometrické ukazatele, sport.

Cíl bakalářské práce

V této bakalářské práci jsem se pokusila shrnout základní problematiku, která se pojí s adekvátním ohodnocením tělesné hmotnosti pomocí indexu BMI a podílu tuku u sportovců. Začátek této práce je věnován hmotnostním kategoriím BMI, složení těla a metodám jeho měření. Dále se pak zabývám somatotypem a to obecně bez vazby na sport. Závěr práce má postihnout tato témata v souvislosti se sportem.

Obsah

Abstrakt iii
Obsah ..... - 5 -
Úvod ..... - 7 -
1 Snížená hmotnost,optimální hmotnost, nadměrná hmotnost a obezita ..... - 8 -
1.1 Definice ..... - 8 -
1.1.1 Mentální anorexie ..... - 8 -
1.1.2 Optimální hmotnost ..... - 8 -
1.1.3 Nadměrná hmotnost a obezita ..... - 8 -
1.2 Typy obezity ..... - 10 -
1.3 Distribuce nadměrné hmotnosti a obezity v populaci ..... - 11 -
1.4 Diagnostika obezity ..... - 11 -
2 Složení těla ..... - 11 -
2.1 Ideální složení těla ..... - 14 -
2.2 Matematika ve studiu složení těla ..... - 14 -
2.2.1 Shromaždování dat a referenční standardy ..... - 14 -
2.2.2 Metody analýzy dat o složení těla ..... - 15 -
2.3 Metody měření složení těla ..... - 16 -
2.3.1 Biofyzikální metody ..... - 17 -
2.3.1.1 Celkový tělesný draslík ..... - 17 -
2.3.1.2 Neutronová aktivační analýza ..... - 17 -
2.3.1.3 DEXA(Dual X-ray Absorptiometry, duální rentgenová absorptimetrie) - 18 -
2.3.2 Biochemické metody ..... - 18 -
2.3.2.1 Kreatininurie ..... - 18 -
2.3.2.2 Celkový plazmatický kreatinin ..... - 19 -
2.3.2.3 Vylučování 3-methylhistidinu ..... - 19 -
2.3.3 Denzitometrie ..... - 19 -
2.3.3.1 Hydrostatické vážení ..... - 20 -
2.3.3.2 Voluminometrie (water displacement) ..... - 20 -
2.3.3.3 Pletysmografie (air displacement plethysmography) ..... - 20 -
2.3.4 Antropologické metody ..... - 21 -
2.3.5 Další metody měření tloušťky podkožního tuku ..... - 22 -
2.3.5.1 Radiografie ..... - 22 -
2.3.5.2 Ultrazvuk ..... - 23 -
2.3.5.3 Infračervená interakce ..... - 23 -
2.3.6 Hydrometrie ..... - 23 -
2.3.6.1 Izotopy vodíku ..... - 23 -
2.3.6.2 Elektrická vodivost ..... - 23 -
2.4 Metody používané k vyhodnocení distribuce tuku v těle ..... - 25 -
3 Somatotyp ..... - 25 -
3.1 Komponenty somatotypu ..... - 25 -
3.2 Somatograf ..... - 25 -
3.3 Stanovení somatotypu ..... - 26 -
3.4 Význam stanovení somatotypu ..... - 27 -
4 BMI (Body mass index) ..... - 28 -
4.1 BMI jako standard pro stanovení kategorie váhy ..... - 28 -
4.2 Výhody při použití BMI ..... - 28 -
4.3 Nevýhody při použití BMI ..... - 28 -
5 Sport ..... - 28 -

5.1 Sport a měření fyzické zdatnosti ... - 29 -
5.1.1 Plicní objemy, kapacity a jejich měření ... - 29 -
5.1.1.1 Objemy a kapacity plic ... - 29 -
5.1.1.2 Měření objemů a kapacit ... - 30 -
5.1.1.3 Vztah tělesného vývoje k jednotlivým kapacitám ... - 30 -
5.1.2 Hodnocení krevního tlaku ... - 31 -
5.1.3 Měření svalové síly ... - 31 -
5.2 Sport a podíl tuku ... - 31 -
5.2.1 Podíl tuku a výkon sportovce ... - 31 -
5.3 Sport, somatotyp a antropometrické ukazatele ... - 32 -
5.3.1 Faktory podílející se na utváření somatotypu ... - 32 -
5.3.2 Somatotyp a výkonnost jedince ... - 32 -
5.3.3 Složení těla, antropometrické ukazatele a sport ... - 33 -
5.4 Sport a BMI ... - 34 -
5.4.1 Anorexie mezi sportovci ... - 35 -
5.4.2 Sport a nadměrná váha ... - 36 -
Závěr ... - 37 -
Seznam obrázků ... - 38 -
Seznam tabulek a grafů ... - 38 -
Použitá literatura ... - 39 -
Internetové zdroje ... - 40 -

Úvod

Když se řekne tuk a BMI možná se nám hned vybaví další pojmy jako ideální hmotnost, nadměrná hmotnost nebo možná anorexie. To jsou pojmy, které spolu těsně souvisí, neboť BMI vymezuje hmotnostní kategorie jako je právě anorexie, snížená hmotnost, normální hmotnost, nadměrná hmotnost a obezita. Nadměrnou hmotností rozumíme zvýšené množství tuku nad určité optimum. Nikoli tedy nárůst hmotnosti jako takové, jejíž vzrůst může být zapříčiněn například zmnožením svalové hmoty, zjm. u atletů nebo fyzicky aktivních jedinců, nebo větším podílem kostní složky v těle. Určitě jsme nejednou z úst svých kolegů/kolegyň zaslechli útěšnou větu:„ Mám prostě těžké kosti.“. Na hmotnost má tedy vliv somatotyp jedince, pohlaví, výška, věk a fyzická aktivita.

Určení ideální hmotnosti u běžného jedince, který se profesionálně nevěnuje žádnému sportu, se váže zejména na optimální zdravotní stav jedince. Neboli za ideální hmotnost se považuje taková hmotnost, při které lze dosáhnout vysokého věku v dobrém zdravotním stavu (Kunešová, 2000). Během uplynulých let se činily pokusy o posouzení hmotnosti jedince dle různých výpočtů, z nichž nejčastěji používané jsou Broccův vzorec, Broccův index, Bonhardtův vzorec nebo WH index a snad nejznámější index BMI (Kunešová, 2000). Od některých vzorců se dnes již téměř opustilo a zůstalo jen u „domácího užívání“ a o vhodnosti použití jiných indexů se zase hojně diskutuje.

Pokud chceme mluvit o ideální hmotnosti profesionálních sportovců, musíme se navíc ohlížet na výkon sportovce (například u gymnastů se zvýšený podíl tuku a nárůst hmotnosti projevuje negativně na výkonu). Nejeden špičkový sportovec se nechává slyšet, že každé kilo navíc má vliv na jeho výkon. Na druhé straně zjm. u tanečnic a baletek hrozí nebezpečí nízké hmotnosti až výskyt anorexie. Naopak u sumo-zápasníků se hromadí velké množství tuku. Přitom jak nízký, tak vysoký podíl tuku se negativně projevuje na zdraví daného jedince. Naskýtá se tedy problém, jak objektivně zhodnotit hmotnost člověka s ohledem na jeho konstituci, pohlaví, věk a fyzickou aktivitu.

1 Snížená hmotnost,optimální hmotnost, nadměrná hmotnost a obezita

1.1 Definice

1.1.1 Mentální anorexie

Pro diagnostiku mentální anorexie je třeba splnit hned několik bodů. Za prvé je tělesná hmotnost udržována nejméně 15% pod předpokládanou úrovní, přičemž snížení hmotnosti si způsobuje nemocný jedinec sám. Za druhé jsou přítomny strach z tloušťky a zkreslená představa o vlastním těle. Za další se u žen vyskytne amenorea (ale díky pobírání antikoncepce nemusí být tento bod splněn), u mužů dochází ke ztrátě sexuálního zájmu a potenci. (Krch, 1999)

Stejně tak jako s nadměrnou hmotností se také s anorexií pojí řada zdravotních problémů, mezi nimiž lze zmínit komplikace kardiovaskulární (hypotenze a důsledkem toho závratě nebo náhlé ztráty vědomí, dále např. zhoršení výkonnosti srdečního svalu), renální (nejčastěji se vyskytují poruchy elektrolytové rovnováhy- hypokalémie, hyponatrémie, hypochlorémie), gastrointestinální (zjm. u bulimiček v souvislosti s opakovaným zvracením - eroze zubní skloviny, záněty jícnu, jícnové eroze, vředy), kosterní (osteoporóza - v souvislosti se ztrátou menstruace), endokrinní (zvýšená hladina kortizonu v plazmě, snížení volného trijodthyroninu na polovinu), neurologické (celková svalová slabost až u 40% anorektiček), metabolické (zhoršení regulace tělesné teploty, narušení metabolismu glukózy) a jiné další. (Krch, 1999)

1.1.2 Optimální hmotnost

Za ideální hmotnost se považuje taková hmotnost, při které lze dosáhnout vysokého věku v dobrém zdravotním stavu (Kunešová, 2000). Při stanovení optimální hmotnosti je důležitá otázka distribuce tuku v těle.

1.1.3 Nadměrná hmotnost a obezita

Obezita se často definuje jako zvýšení tělesného tuku v organismu (Hainer, Kunešová, 1997). Možná si někdo položí otázku, jaké procento tuku v organismu je považováno za zvýšené. Můžeme tedy chápat nadměrnou hmotnost, resp. obezitu spíše jako zvýšení hmotnosti vztaženo k nějakému standardu. Zvýšené množství tuku může být rovnoměrně rozloženo v celém těle nebo se může soustředit do určitých oblastí těla (Bray, 1998), což má různý vliv na celkové zdraví jedince a při posuzování závažnosti obezity bychom na distribuci tuku v těle neměly zapomínat. Obezitu lze též klasifikovat jako stav, kdy nahromaděná tuková tkáň je nadměrná v poměru k rozvoji svalové hmoty (Tobolková, 2001).

Mimo to se někdy k definování nadměrné hmotnosti a obezity užívají statistické hranice. Například obezita se definuje jako body mass index (BMI) – viz níže – větší jak **30 kg/m^2** (nadměrná hmotnost se definuje jako BMI > **27 kg/m^2**). Na tyto kategorie se soustřeďuje v lékařské praxi větší pozornost kvůli přidruženým zdravotním rizikům a zvýšenému procentu úmrtnosti (Bouchard, Bray,1996). Níže je uvedená tabulka klasifikací hmotností přejatá od WHO, 1995, WHO, 2000 a WHO 2004.

Classification	BMI(kg/m²)	
	Principal cut-off points	Additional cut-off points
Underweight	<18.50	<18.50
Severe thinness	<16.00	<16.00
Moderate thinness	16.00 - 16.99	16.00 - 16.99
Mild thinness	17.00 - 18.49	17.00 - 18.49
Normal range	18.50 - 24.99	18.50 - 22.99
		23.00 - 24.99
Overweight	≥25.00	≥25.00
Pre-obese	25.00 - 29.99	25.00 - 27.49
		27.50 - 29.99
Obese	**≥30.00**	**≥30.00**
Obese class I	30.00 - 34-99	30.00 - 32.49
		32.50 - 34.99
Obese class II	35.00 - 39.99	35.00 - 37.49
		37.50 - 39.99
Obese class III	≥40.00	≥40.00

1. **Tab.:Klasifikace kategorií hmotnosti podle WHO (http://www.who.int)**

Nadměrnou hmotnost chápeme jako hmotnost, při které se vyskytuje mírně zvýšené riziko zdravotních komplikací, a obezitu jako hmotnost se středně až vysokým rizikem výskytu zdravotních komplikací (Kunešová, 2000).

S nadměrnou hmotností a obezitou se pojí zvýšené riziko výskytu řady nemocí jako například diabetes 2. typu, ischemická srdeční choroba, hypertenze, osteoartróza zjm. nosných kloubů. Nezanedbatelné je též riziko vzniku poruch pohlavních hormonů, poruchy plodnosti, výskyt dušnosti, defekty plodu u obézních matek..... Nesmíme ovšem zapomenout, že na vzniku výše uvedených poruch se podílejí ještě další faktory jako je distribuce tuku, kouření, složení potravy, pohybový režim (Hainer a kol, 2004). Podrobnější informace o možných zdravotních komplikacích obezity ukazuje níže uvedená tabulka.

Metabolické
- inzulinorezistence – hyperinzulinémie – porucha glukózové tolerance – NIDDM
- poruchy metabolismu lipoproteinů
- hyperurikémie
- změny fibrinolytické aktivity

Endokrinní
- hyperestrogenismus
- hyperandrogenismus u žen
- hypogonadismus u mužů s těžkou obezitou
- lehký hyperkortizolismus
- snížená sekrece růstového hormonu (GH)
- pozměněná aktivita sympatoadrenálního systému

Gynekologické
- poruchy cyklu, amenorea
- infertilita
- komplikace v graviditě
- komplikace při porodu
- pokles dělohy
- záněty rodidel

Gynekologické nádory
- endometria
- cervixu dělohy
- vaječníku
- prsu

Gastrointestinální nádory
- kolorektální
- žlučníku a žlučových cest
- jater
- pankreatu

Urologické nádory
- prostaty
- ledvin

Kardiovaskulární
- hypertenze
- hypertrofie a dilatace levé komory srdeční
- ischemická choroba srdeční
- arytmie
- náhlá smrt
- mozkové cévní příhody
- varixy
- tromboembolická nemoc

Respirační
- hypoventilace a restrikce u Pickwickova syndromu
- syndrom spánkové apnoe

Gastrointestinální a hepatobiliární
- gastroezofageální reflux
- hiátová hernie
- cholelitiáza
- cholecystitida
- jaterní steatóza

Ortopedické
- degenerativní onemocnění kloubů a páteře, zejména artrózy nosných kloubů (koxartróza, gonartróza)
- epifyzeolýza (u dětí)
- vybočená holeň

Kožní
- ekzémy a mykózy, zejména v místech vlhké zapářky
- strie
- celulitida
- hypertrichóza, hirzutismus
- benigní papilomatóza

Psychosociální
- společenská diskriminace (»anti-fat racism«)
- malé sebevědomí, porucha motivace, sebeobviňování
- deprese, úzkost
- poruchy příjmu potravy

Chirurgická a anesteziologická rizika

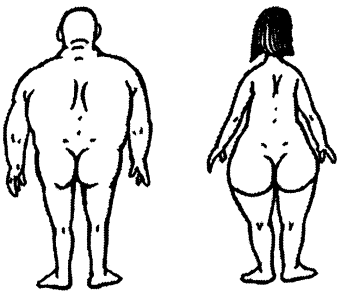
Iatrogenní

Jiné
- edémy
- horší hojení ran
- častější výskyt úrazů
- častější výskyt kýl
- pseudotumor cerebri (u dětí)

2. **Tab.: Zdravotní komplikace obezity (Hainer, 1997)**

1.2 Typy obezity

Rozlišujeme dva typy obezity podle častějšího výskytu daného typu u jednoho z pohlaví, **androidní** neboli mužského typu (též viscerální, útrobní obezitu) a **gynoidní** neboli ženského typu (obr.1). Mužský typ obezity je typický hromaděním útrobního tuku v oblasti hrudníku a břicha, zatímco u ženského typu obezity se tuk hromadí zejména na hýždích a stehnech, přičemž jde o zmnožení podkožního tuku.



1. **Obr.: Androidní, resp. gynoidní typ obezity (Hainer, 1997)**

Obecně je přijímán vztah mezi vzrůstajícím tělesný tukem a zdravotními riziky. Přesto dva lidé se stejným procentem tuku mohou být v různé míře ohroženi výskytem kardiovaskulárních onemocnění (Eston, 2001). Proto je výše uvedené rozlišení důležité. Androidní typ je více spojen s výskytem metabolických a kardiovaskulárních onemocnění než gynoidní typ obezity (Hainer, Kunešová, 1997).

1.3 Distribuce nadměrné hmotnosti a obezity v populaci

Prevalence nadměrné hmotnosti a obezity se liší v závislosti na věku, pohlaví, rase, socioekonomické třídě a rozdílu v náchylnosti ke vzniku obezity (Bouchard, Bray,1996). Obecně procento tuku stoupá se zvyšujícím se věkem. Fyziologicky je vyšší podíl tuku u žen (**28 - 30%**) oproti mužům, u kterých se procento tuku pohybuje okolo **23 - 25 %** (Hainer, Kunešová, 1997).

Ukázalo se, že vyšší vzdělání a výše příjmu ovlivňují pozitivně převahu obezity v rozvojových zemích a soustřeďuje se více do městské populace. Nicméně u nás je naopak obezita častější u osob s nižším vzděláním a nižšími příjmy a soustřeďuje se více na venkov. Tedy nelze zcela obecně určit závislost mezi socioekonomickou třídou a prevalencí obezity (Hainer a kol, 2004).

1.4 Diagnostika obezity

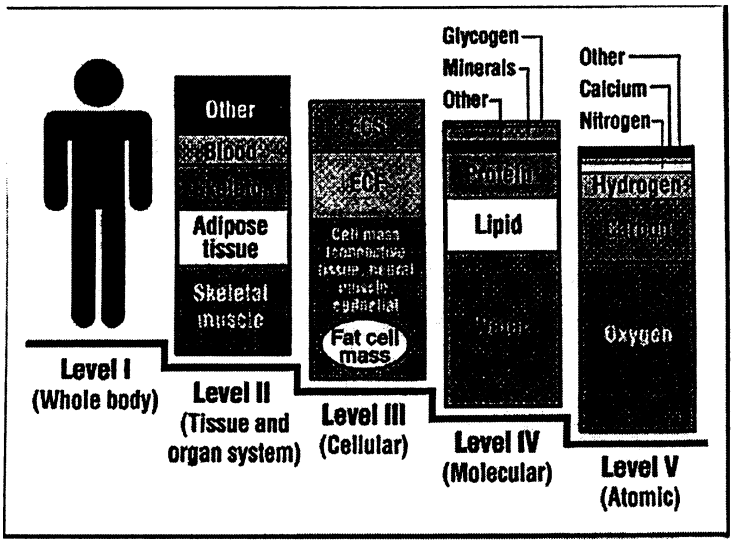
Při hodnocení stupně nadměrné hmotnosti musíme brát v potaz jak klinické, tak laboratorní testy. Mezi data, která se shromažďují při vyšetřování jedince, patří výška v **cm**, váha v **kg**, váha ve věku 20 let, obvod pasu, obvod boků, krevní tlak v **mm Hg**, systolický a diastolický. Dále se zjišťuje hladina triglyceridů, HDL cholesterolu a hladina glukózy na lačno v **mg/dL**. Je třeba zjistit případnou přítomnost spánkové apnoe a zda-li sledovaná osoba pobírá nějaké léky, které mohou mít vliv na zvýšení hmotnosti. Z těchto údajů se dále odvozují data jako BMI nebo WHR (obvod pasu ku obvodu boků).

Prvním krokem při stanovení nadměrné hmotnosti je měření výšky a hmotnosti. Je důležité, aby vážení probíhalo vždy za standardizovaných podmínek, to znamená bez bot, ve spodním prádle, po vyprázdnění močového měchýře, s přesností na **0,1 kg**. Stupeň obezity se pak stanoví podle tabulek optimálních hmotností (Hainer, Kunešová, 1997). Využívají se například tabulky Metropolitní pojišťovací společnosti. Vztahujeme tedy naměřené hodnoty k určitému standardu, který považujeme za optimální. Za optimální přitom považujeme hmotnost s nejmenší mortalitou (Hainer a kol, 2004).

K diagnóze obezity se často používá BMI, přestože nemusí určovat obsah tukové tkáně, jehož zvýšená míra definuje pojem obezity. BMI by mělo sloužit spíše k orientačnímu posouzení stavu jedince (Tobolková, 2001). Někdy jsou laboratorní data doplněna dalšími údaji jako je tloušťka kožních řas, složení těla nebo určení somatotypu (Bray,1998).

2 Složení těla

Lidské tělo můžeme analyzovat z různých pohledů. **Pěti stupňový model** rozlišuje 5 úrovní, na kterých tělo zkoumáme (obr. 2).



2. Obr.: Pět úrovní analýzy složení těla (Bray, 1998)

První stupeň studuje tělo jako celek. Na této úrovni lze vyžívat *antropometrické metody* k získávání dat z četných měřitelných složek jako například výška těla, délka končetin, různé obvody, tloušťka kožních řas na různých místech těla. Dále se vypočítává povrch a objem těla a hmotnostně-výškový index BMI. Také se stanovuje hustota těla. (Bray, 1998)

Druhý stupeň se zabývá tkáněmi a soustavami orgánů. Dělí tělo na kosterní svaly, tukovou tkáň, kostru, krev a jiné. Přičemž je z hlediska studia obezity důležité množství a umístění tukové tkáně.

Tuková tkáň se nachází zjm. v podkožním vazivu, v menší míře pak v okolí orgánů, uvnitř svalové tkáně (intersticiálně) a v morku kostí (žlutá dřeň). Hustota tukové tkáně se pohybuje v rozmezí od **0,92 g/ml** do **0,96 g/ml** v závislosti na podílu lipidů a vody. Na tkáňové úrovni se využívají metody jako je *ultrazvuk* nebo *magnetická rezonance*. (Eston, 2001)

Celkový tělesný tuk můžeme rozdělit na základní tuk a tuk zásobní. Základní tuk má zjm. mechanické funkce jako je obal ledvin, intraabdominální tuk a tukové těleso v periferních nervech a svalech. Zásobní tuk se vyskytuje zjm. v podkoží a slouží jako zásoba energie a tepelná izolace. (Tobolková, 2001)

Hustota kostí se mění v závislosti na věku, pohlaví a tělesné aktivitě. Rozsah hustoty kostí u zemřelých byl zaznamenán v rozmezí od **1,18 g/ml** do **1,33 g/ml**. Množství kostní tkáně může být zhodnoceno např. metodou *DEXA*. (Eston, 2001)

Hustota svalů byla zhodnocena jako relativně konstantní (**1,065 g/ml**), ačkoli intersticiální množství tukové tkáně uvnitř tkáně svalové způsobuje určitou variabilitu hustoty. Metodami měření množství svalů jsou *kreatinurie* nebo *antropometrie*. (Eston, 2001)

Na třetí úrovni probíhá rozbor buněk. Na buněčné úrovni organizace rozdělujeme tělo na celkovou buněčnou hmotu, extracelulární tekutiny (**ECF**) a extracelulární roztoky (**ECS**). Celková buněčná hmota je složena ze všech různých typů buněk jako např. tukových buněk (adipocyty), buněk pojivové tkáně, neurálních buněk, svalových buněk (myocyty) a epiteliálních buněk. (Eston, 2001, Bray, 1998)

ECF zahrnuje intravaskulární a extravaskulární plasmu. Jedná se zejména o vodní roztoky, které fungují jako médium pro výměnu plynů, živin a odpadních látek. Na této úrovni se dá využít metoda *radioaktivního izotopu draslíku* k určení celkové buněčné hmoty. (Eston, 2001)

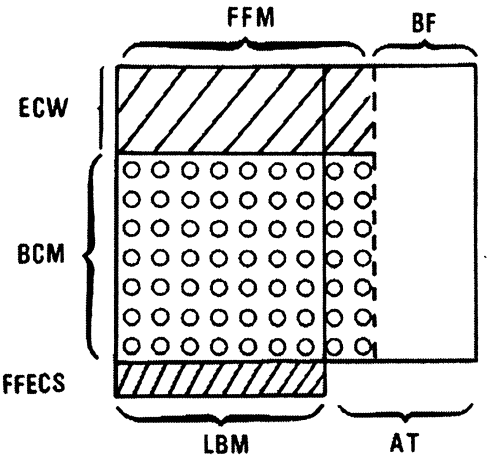
ECS zahrnuje organické látky (kolagen v pojivové tkáni) a anorganické látky (Ca, P zjm. v kostech). Metoda, která se využívá k stanovení množství některých komponentů, je *neutronová aktivační analýza.* (Eston, 2001)

Čtvrtý stupeň představuje rozbor složení těla na molekulární úrovni. Na tomto stupni organizace je tělo tvořeno více jak 100 000 chemických složek, které mohou být redukovány na pět hlavních skupin. Vyhodnocuje se podíl vody, tuků, proteinů, sacharidů (zjm. glykogenu), minerálů a jiných látek v těle. (Eston, 2001).Tato část modelu se využívá v klinické medicíně. Byl zjištěn přibližně **60%** podíl vody na hmotnosti u mužů a **50 %** podíl u žen. Tuky se na hmotnosti u mužů podílejí z cca **12 – 20 %** a u žen z **20 - 30 %,** přičemž hodnoty jsou vztaženy k netrénované, běžné populaci.

Existuje více molekulárních modelů, které mohou být využity k popisu tělesné hmotnosti. Jedním z nich je *dvou-složkový model*, který stanovuje hmotnosti těla podle následující rovnice: **Tělesná hmotnost = tuk + tuku-prostá hmota (FFM = fat-free mass).** Hlavní složkou FFM jsou svaly, ačkoli s mnohými metodami hodnocení tělesné vody a kostí jsou tyto také zahrnuty do hodnocení. (Shephard, 1991) Dalším (komplexnějším) *čtyř-složkovým modelem* je odvozený model, který rozděluje tuku-prostou hmotu na další složky. Hmotnost těla se pak počítá podle níže uvedeného vztahu: **Tělesná hmotnost = tuk + voda + proteiny + kostní minerály**. Posledním modelem je *tří-složkový model* odvozený od duální radioaktivní absorptiometrie.**Tělesná hmotnost = tuk + kostní minerály + lean body mass (aktivní tělesná hmota) -ATH**. Chemické složení ATH je považováno za relativně konstantní. Obsahuje **72-74%** vody, **60-70 mmol/kg**, resp. **50-60 mmol/kg** draslíku u můžů, resp. u žen (Riegerová, Ulbrichová,1993).

Poslední, pátá úroveň pohlíží na tělo na atomické úrovní. Určuje se podíl kyslíku, uhlíku, vodíku, dusíku, vápníku a dalších atomů vůči ostatním atomům (Bray, 1998). Tyto prvky tvoří tělo z **98%**, zatímco zbylých přibližně **44** elementů se podílí na celkové tělesné hmotě jen z **2%**. Mezi metody, které zkoumají tělo na této úrovni patří *neutronová aktivační analýza* určená k vyhodnocení celkového tělesného dusíku a vápníku nebo metoda *celkového tělesného draslíku.* (Eston, 2001).

Znalost vzájemných vztahů mezi jednotlivými stupni nám pomáhá ubránit se chybné interpretaci dat na jednotlivých úrovních organizace těla. Například lipidy jsou často hodnoceny na molekulárním stupni, zatímco množství svaloviny se hodnotí na úrovni tkáňové nebo systémové. Použité metody jsou navzájem nekompatibilní ve smyslu, že se překrývají zahrnutím intersticiálních lipidů svalové tkáně. (Eston, 2001) Obr.3 uvádí vztah mezi různými částmi tělesných složek:



3. Obr.: Vztah mezi jednotlivými složkami těla (Stunkard, 1993)

FFM (*fat-free mass*) – tuku prostá hmota, **BF** (*body fat*) – tuk, **LBM** (*lean body mass*) – aktivní tělesná hmota, **AT** (*adipose tissue*) – tuková tkáň, **ECW** (*extracellular water*) – extracelulární voda, **BCM** (*body cell mass*) – buněčná hmota, **FFECS** (*fat-free extracellular solids*) – tukuprosté extracelulární látky

Je třeba rozlišit pojmy tuk a tuková tkáň. Tuková tkáň se skládá z adipocytů, extracelulární tekutiny, cév, nervových zakončení a pojivové tkáně. Tuk je tvořen lipidy v tukové tkáni (zjm. triglyceridy) (Hainer a kol, 2004). Někdy se chybně zaměňuje **LBM a FFM. LBM** ovšem znamená **FFM** s obsahem esenciálních lipidů (lipidy, které jsou bez ostatních struktur nefunkční – např. membránové lipidy, lipidy v nervové tkáni). (Eston, 2001) FFM obsahuje těchto esenciálních lipidů přibližně **4%**. (Shephard, 1991).

V dvousložkovém, resp. čtyř-složkovém modelu je *tuku-prostá hmota*, resp. *aktivní tělesná hmota* odhadována pomocí biofyzikální metody celkového tělesného draslíku. Pro měření tuku byly vyvinuty také nepřímé techniky založené na impedanci a infračerveném působení. Hustota těla bývá odhadována podvodním vážením nebo pletysmografickou technikou (Stunkard, 1993).

2.1 Ideální složení těla

Je mnoho možných definicí „ideální" stavby a složení těla a jsou různé přístupu při jejich hodnocení. Například jedna studie kanadských studentek univerzity z roku 1960 hodnotila ideální procento tuku na základě jejich vzhledu, jež hodnotili mužští pozorovatelé, což bylo odsouzeno. (Shephard, 1991)

Jednou z možností, jak stanovit „ideální standard" pro individuální podíl tuku, je doporučit hodnoty tloušťky kožní řasy pozorované u mladých dospělých, kteří mají hmotnost, která se blíží pojistně-matematickému ideálu. Přičemž pojišťovací společnosti a epidemiologové vybrali za „ideální hmotnost" hmotnost spojenou s minimální mortalitou na určitém intervalu. Nicméně získané hodnoty byly předpojaté vzhledem k technologii shromažďování dat. Za prvé se využívají hodnoty hmotností udávané subjektem (neprobíhalo vážení). Dále je nejistý příspěvek výšky a oblečení na celkové hmotnosti. Průměrná tělesná hmotnost může odrážet stejně tak akumulaci tuku, jako akumulaci tuku-prosté hmoty. Navíc nahromadění tuku může být zamaskováno zlehčením kostí nebo atrofií kosterních svalů. U starších jedinců vzrůstá problém s interpretací dat kvůli snižování postavy vlivem rozvoje kyfózy nebo kolapsu obratlů.Vzorek jedinců se považuje za vyselektovaný (jde zjm. o úředníky s vysokými příjmy). (Shephard, 1991)

Jednou z doporučených hodnot je podle britského výzkumu 14% tuku pro muže a 18% tuku pro ženy. Přitom většina dospělých v méně vyspělých společnostech disponuje s malým procentem tuku bez zjevného nepříznivého vlivu na zdraví a schopnost snášet extrémně nízké okolní teploty. Dále u určité skupiny atletů byl naměřen velmi nízký podíl tuku (přibližně 5% u můžu a 8% u žen), kde se jedním z potencionálních komplikací zdraví zdá být dočasná zástava produkce spermií u mužů a amenorea u žen. (Stephard, 1991)

2.2 Matematika ve studiu složení těla

2.2.1 Shromaždování dat a referenční standardy

Typ dat o složení těla, která jsou vyžadována, závisí na účelu, pro který jsou informace shromažďovány. Dříve byl hlavním motivem pro výzkum složení těla zájem o zjištění vztahu mezi obezitou a mortalitou, dále zájem o minimální množství přísunu proteinů nutného pro růst svalů a zájem o osteoporózu u starších občanů. V dnešní době je zájem soustředěn na antropologické a vývojové důsledky složení těla. (Stephard, 1991)

Referenční standardy jsou hodnoty, obvykle založené na datech získaných u zdravých a dobře živených jedinců. Slouží jako základ pro srovnávání populací – někdy bez posouzení vhodnosti vybrané reference (např. posouzení tělesné hmotnosti u dětí). Někteří autoři se

dožadují populačně specifických referenčních standardů, což je smysluplné zjm. u sportovců, kteří jsou vázáni k určité disciplíně. (Stephard, 1991)

2.2.2 Metody analýzy dat o složení těla

Většina statistických analýz dat o složení těla užívá korelační, regresní nebo kovariační analýzu.

Centily

Centily poskytují jednoduché a validní hodnocení složení těla, jestliže příslušný jedinec leží relativně blízkou ke střední referenční hodnotě. Nicméně taková statistika je nevhodná, když se daný jedinec pohybuje v extrémech distribuční křivky (např. mezinárodní třída sportovců nebo podvyživení jedinci). Centily jsou normály definovány jen od 3. to 97. centilu. (Stephard, 1991)

Z-skóre

Jestliže je popsána průměrná hodnota pro populaci, Z-skóre udává odchylku od očekávané hodnoty. Vyjadřuje poměr ke standardní odchylce pro referenční populaci.(Stephard, 1991)

Z-skore = $\frac{x_i - \bar{x}}{sd}$, x_i ...naměřená hodota i-tého jedince, $\bar{x}$...průměrná hodnota referenční populace, **sd** ...směrodatná odchylka referenční populace. (Vignerová, 2001)

Regresní analýza

Úkolem regresní analýzy je kvantitativně popsat průběh zkoumaného korelačního vztahu a použít *regresní ukazatele* (regresní koeficient (b_{yx}), který vyjadřuje, jak se průměrně změní závisle proměnná Y při jednotkové změně nezávisle proměnné X) a *regresní funkci* korelační závislosti při odhadech změn závisle proměnné. (Kožíšek, 2006)

Regrese znamená závislost jednoho znaku vyšetřovaného jevu na aritmetickém průměru hodnot jiného znaku. Neboli chceme vytvořit rovnici, kterou by se průměrná hodnota dané náhodné proměnné našeho zájmu mohla ohodnotit nebo být předpovězena na základě znalosti hodnot jedné nebo více dalších proměnných. Primárně se zajímáme o jedinou náhodnou proměnnou **Y**. Předpokládá se, že hodnoty této náhodné proměnné závisí nebo jsou ovlivněny hodnotami jedné nebo více jiných proměnných. Náhodná proměnná **Y** se nazývá závisle proměnná neboli odpověď. Proměnné, které ovlivňují **Y** se nazývají nezávisle proměnné. (Milton, 1992)

Typickými regresními křivkami jsou: *nelineární regresní křivka* a *lineární regresní křivka.* Jde o grafy teoretických průměrů závisle proměnné Y pro dané hodnoty nezávisle proměnné X. Obvykle neznáme přesnou rovnice takové křivky. (Milton, 1992) Lineární závislost se popisuje rovnicí tvaru: $\hat{y}_i = a_{yx} + b_{yx}x_i$, $\hat{y}_i$...odhad hodnot závisle proměnné Y, a_{yx}...parametr rovnice, b_{yx}...parametr rovnice (regresní koeficient), x_i...hodnoty nezávisle proměnné X. (Kožíšek, 2006)

Korelační analýza

Korelace zahrnuje měření síly lineárního vztahu mezi dvěmi náhodnými proměnnými. (Milton) Korelační koeficient ukazuje, zda závisle proměnná vzrůstá nebo klesá s růstem nezávisle proměnné. Při větší statistické závislosti proměnných je větší hodnota jejich korelace. Čím blíže je korelační koeficient k **1**, tím lépe jde lineární závislost popsat přímkou s kladnou směrnicí (tj. $Y = \beta_0 + \beta_1 X$, $\beta_0, \beta_1 \in R$, $\beta_1 \neq 0$). Tj. mezi náhodnými proměnnými X, Y je *přímá lineární závislost.* Je-li korelační koeficient blíže **-1** je mezi náhodnými proměnnými X, Y je *nepřímá lineární závislost.* Tedy lineární závislost lze popsat přímkou se

zápornou směrnicí (tj. $Y = \beta_0 - \beta_1 X$, β_0, $\beta_1 \in R$, $\beta_1 \neq 0$). Jestliže hodnota korelačního koeficientu je **0**, říkáme že náhodné veličiny X, Y jsou *nekorelované*. Výhodou korelačního koeficientu je, že nezáleží na jednotkách, na kterých měříme náhodné veličiny. (Zvára, 2001) Nevýhodou korelačního koeficientu je, že neukazuje vztah příčiny a následku. (Norton, 1968)

Korelační koeficient počítáme podle vztahu: $r_{X,Y} = \frac{S_{XY}}{S_X \cdot S_Y}$, S_{XY}...kovariance náhodných proměnných X,Y, S_X^2,S_Y^2 jsou rozptyly jednotlivých proměnných. (Zvára, 2001)

Přičemž **rozptylem** popisujeme velikost kolísání náhodné veličiny kolem střední hodnoty a je vždy nezáporný.

Kovariační analýza

Korelační koeficient je speciálním případem **kovariance**, což je střední hodnota součinu odchylek obou náhodných proměnných X, Y od jejich středních hodnot. Kovarianci počítáme podle vztahu: $S_{X,Y} = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x}_n) \cdot (y_i - \bar{y}_n)$, x_i...konkrétní statistická data (např. 156, 158, ...,n) náhodné proměnné X (např. výška), $\bar{x}_n$...aritmetický průměr těchto dat (např. 163), podobně pro **y**, **n** ...rozsah výběru. Obdobně jako u korelačního koeficientu je-li kovariance kladná, zvětšují se hodnoty závisle proměnné spolu se zvětšujícími se hodnotami nezávisle proměnné. Je-li kovariance záporná, zmenšují se hodnotu závisle proměnné se zvyšujícími se hodnotami nezávisle proměnné. (Zvára, 2001)

2.3 Metody měření složení těla

V této části nás budou zajímat zejména metody, pomocí kterých dokážeme odhadnout podíl tuku v těle. Metody se liší nejen přesností, ale též snadností jejich použití a náklady na jejich použití. A proto také možností využití v rozsáhlých studiích.

Důležitou vlastností používaných metod je jejich validita. Validitou rozumíme rozsah, ve kterém metoda přesně měří velikost, jejíž pravou hodnotu známe. Analýza složení těla je neobvyklá v tom, že nám pravé hodnoty může poskytnout pouze přímá metoda - pitvy zemřelých (Eston, 2001). Přímá měření často nejsou možná, proto se používá metod nepřímých, které měří jinou veličinu než je daná složka těla – tuk, sval, kost (Tobolková, 2001). Nepřímé techniky měření jsou závislé na specificky populačních předpokladech jako je např. hustota tuku-prosté hmoty a tuku, stejně tak celkový obsah tělesného draslíku nebo celkový obsah vody. Tyto hodnoty jsou různé napříč pohlavím, věkem a stupněm obezity. (Stunkard, 1993)

Dokonce v rámci populace je stanovení množství tuku-prosté hmoty a tuku jen průměrné. Například obsah vody v tuku-prosté hmotě se mění při dehydrataci. Nebo obsah draslíku a hustota tuku-prosté hmoty se zvyšuje se zvyšující se fyzickou zdatností a snižuje se s věkem. (Stunkard, 1993)

Nepřímé techniky byly užity ke konstrukci rovnice předpovídající *podíl tuku* a *tuku-prosté hmoty na váze* z výškově-váhových indexů, měření obvodů, tloušťky kožních řas, radiologických a ultrazvukových měření. Tyto odvozené techniky jsou též specifické pro danou populaci (Stunkard, 1993). Např. k výpočtu podílu tuku z naměřených hodnot metodou **BIA** se využívá predikční rovnice. U fyzicky aktivních jedinců, kteří mají procento tuku nižší než **10%**, však tato rovnice byla nepoužitelná a bylo třeba ji nově stanovit. Výpočet podílu tuku přitom vedle naměřených hodnot metodou **BIA** závisí též na věku, druhé mocnině výšky a hmotnosti. (Bunc, 1993)

Referenční metody jsou obvykle založeny na dvou-složkovém modelu. Kalibrační antropometrické metody jsou omezeny na tentýž model (Stunkard, 1993). Mezi metody, které se využívají ke stanovení podílu tuku v těle patří měření kožních řas antropometrickoku metodou, hydrometrie nebo metody založené na elektrické vodivosti (BIA, TOBEC, NMR). Metody sloužící ke stanovení podílu svalů jsou biochemické metody (kreatinurie nebo celkový plazmatický kreatin a vylučování 3-methylhistidinu), z biofyzikálních metod celkový tělesný draslík a neutronová aktivační analýza, také NMR, a jiné další. (Shephard, 1991)

2.3.1 Biofyzikální metody

Biofyzikální metody pracují s poznatky chemických analýz různých tkání. Jejich nevýhodou je finanční nákladnost. Výhodou oproti tomu je potenciál být nejlepším standardem, podle kterého se dá hodnotit validita jiných metod (Riegerová, Ulbrichová,1993).

2.3.1.1 Celkový tělesný draslík

Metoda počítá s předpokladem, že více jak **95 %** množství draslíku je intracelulární(Bray, 1998). Draslík je složkou z více jak **90%** beztukové tělesné hmoty a předpokládá se, že celkový obsah draslíku v aktivní tělesné hmotě je konstantní. Přibližně 60% totálního množství draslíku se nachází ve svalech. Metoda měří množství přirozeného izotopu draslíku ^{40}**K.** (Riegerová, Ulbrichová,1993, Shephard, 1991). Přirozeně se vyskytující radioaktivní izotop ^{40}**K** utváří konstantní procento **0,012 %** tělesného draslíku. Každý gram draslíku obsahuje dostatek ^{40}**K**, aby mohlo vynést1800 rozpadů za minutu. Přitom 11% uvolněného záření se objevuje ve vysoko-energetické formě gama záření a 89% ve formě beta záření. Vyhodnocení gama záření, které je tělem normálně emitováno, poskytuje základ pro vyhodnocení celkového tělesného draslíku (Shephard, 1991) Princip metody tedy spočívá ve skutečnosti, že draslík ^{40}**K** emituje charakteristické záření, které může být detekováno. (Riegerová, Ulbrichová,1993)

Výhodou metody je relativní přesnost. Chyba se pohybuje v rozmezí **3-5%**. Využívá se jako **referenční metoda**. Nevýhodou metody je nutnost celotělových detektorů, které jsou drahé, a technická náročnost stanovení ^{40}**K**. Obsah draslíku se liší mezi jedinci. (Hainer, Kunešová, 1997)

2.3.1.2 Neutronová aktivační analýza

V této metodě se využívá gama-spektrografické metody k určení obsahu vápníku, sodíku, chloridů, fosforu a dusíku v těle (Riegerová, Ulbrichová,1993). Znamená to, že tělo je bombardováno různými druhy rychlých neutronů. Ty jsou zachycovány různými prvky a dochází ke specifické reakci prvků **C, N, Ca** podle neutronového proudu. Vznikají nestabilní izotopy, jejichž emise zachycuje celotělový počítač. Podle rovnice se pak vypočítává množství tuku (Hainar, Kunešová, 1997).

Výhodou metody je přesnost (chyba cca **6%**), proto se využívá jako **referenční metoda**. Nevýhoda metody spočívá v radiační zátěži. Na pracovišti je nutná přítomnost 3 systémů aktivace neutronů (Hainer a kol, 2004).

Celotělová uhlíková metoda

Metoda měří celkové množství uhlíku v těle. Metoda je založena na poznatku, že uhlík je přítomen jako složka tuku, glykogenu, bílkovin, kostních minerálů v celém těle (Hainer a kol, 2004).

Celkový tělesný vápník

Využívá se množství celkového tělesného vápníku k určení celkových kostních minerálů, přičemž pracujeme s předpokladem, že vápník je frakcí **38-39%** kostních minerálů

(Riegerová, Ulbrichová,1993). Nevýhodou metody je skutečnost, že se vápník **ukládá i mimo** kostní tkáň.

2.3.1.3 DEXA(Dual X-ray Absorptiometry, duální rentgenová absorptimetrie)

DEXA byla vyvinuta pro stanovení kostních minerálů v jednotlivých kostech **jako část** vyhodnocení osteoporózy (Bray, 1998). Nyní se využívá také ke stanovení **množství tuku** v oblasti trupu ve srovnání s množství tuku na končetinách (Hainar a kol, 2004). DEXA využívá třísložkový model složení těla: **tělesná váha = tuk + kostní minerály + lean body mass**. Může být tedy srovnávána s podvodním vážením. (Eston, 2001)

Metoda je založena na rozdílné absorpci záření o dvou odlišných energiích různými tkáněmi. Proband leží naznak na lůžku a dva nízkoenergické rentgenové paprsky o různé energii, vycházející ze zdroje pod lůžkem, procházejí tělem (Eston, 2001). Dále se předpokládá, že obsah kostních minerálů je přímo úměrný množství fotonové energie absorbované kostní tkání (Riegerová, Ulbrichová,1993). Zeslabení paprsků je měřeno detektorem nad probandem. Jak zdroj, tak detektor se pohybují tak, že buď celé tělo, nebo vybraná část těla jsou přímočaře skenovány. (Eston, 2001)

Výhodou techniky je relativní přesnost (postrádá slabá místa denzitometrie, kdy nemáme požadavek na konstantnost denzity FFM, tedy je metoda relativně nezávislá na kolísání v hydrataci) a proto se využívá jako **referenční metody**. (Eston, 2001). Její užití není obtížné a hodí se na všechny jedince do 150 kg (Bray, 1998). Nevýhodou je náročnost na čas a vybavení pracoviště, vysoká cena nástrojů (Hainar a kol, 2004). Dále také váhové omezení stolu, které umožňuje měření pouze osob do 150 kg.

2.3.2 Biochemické metody

Následující techniky jsou založeny na stanovení metabolitů svalů. To znamená, že jsou více zaměřeny na odhad rozvoje svalstva. V praxi nejsou kvůli vysoké intraindividuální proměnlivosti tolik využívány.

2.3.2.1 Kreatininurie

Při této metodě vycházíme z předpokladu, že vylučovaný kreatinin je metabolitem kosterních svalů a je endogenního původu. Dále předpokládáme, že množství vyloučeného kreatininu odpovídá množství svalové tkáně. (Riegerová, Ulbrichová,1993) Kreatinin je metabolitem kreatinu a přibližně z **98 %** zásob kreatinu bylo nalezeno ve svalech. Množství vylučovaného kreatininu je vyšší u sportovců, kteří se věnují silovým sportům. Každodenní intra-individuální změny u různých jedinců se pohybujíe okolo **2-30 %.** Např. 10% zvýšení vylučování exkrece byla zaznamenána po 3 hodinách energického pochodu. Oproti tomu velké ztráty kreatininu jsou spojeny s ochabnutím svalů, který je spojen s dietním režimem nebo podvýživou. Očekávané hodnoty kreatininu mohou také narušit některé infekce nebo chronické ledvinové choroby. (Shephard, 1991)

Nevýhody metody tedy spočívají v již zmíněné intraindividuální proměnlivosti, která je ovlivněna příjmem kreatinu v potravě a také pohybovou aktivitou. To vyžaduje zvýšené nároky na probanda, který musí podstoupit několikadenní bezmasou dietu a před vyšetřením zachovat fyzický klid. Dále, jak je výše naznačeno, poměr vyloučeného kreatininu vzhledem ke svalstvu a aktivní tělesné hmotě není konstantní. Poměr závisí na věku, pohlaví, tělesné aktivitě a metabolickém stavu. (Riegerová, Ulbrichová,1993)

Přitom sběr vzorku 24 hodinové moči se ukázalo být nešikovné, zatímco užitečnější se ukázalo zjišťování absolutní hodnoty plazmatického kreatininu (viz níže). (Shephard, 1991)

2.3.2.2 Celkový plazmatický kreatinin

Experimentálně byl zjištěn vztah mezi obsahem plasmatického kreatinu a **množství svalové** hmoty. Tento vztah udává na **1 mg** plazmatického kreatininu **0,88 - 0,98 kg svalové hmoty** (Riegerová, Ulbrichová,1993).

2.3.2.3 Vylučování 3-methylhistidinu

Metoda předpokládá, že vylučování 3-methylhistidinu (3MH) je obrazem odbourávání svalových proteinů (histidinové zbytky jsou metylovány během utváření aktinu a myosinu). Metoda využívá množství vyloučeného 3MH k odhadu tělesného složení. Přibližně 90% AK 3MH se nachází ve svalech, v menším množství v gastrointestinálním traktu (3,8%) a jinde. Výsledky přitom korelují s výsledky denzimetre, celkovým tělesným dusíkem a draslíkem (Riegerová, Ulbrichová,1993, Shephard, 1991). Nevýhodou metody je například, že výcvik svalů může změnit frakci aktinu a myosinu a tedy množství 3MH, která se nachází v kosterním svalstvu. Faktory, které by mohli ovlivnit podíl histidinových zbytků, které jsou metylovány, zůstávají nejisté. Dalšími faktory, které mohou ovlivnit vztah mezi vylučováním 3MH a svalovou hmotou je pohlaví, věk a vyspělost jedince, přiměřená výživa, hormonální stav, fyzická zdatnost, nedávná cvičení nebo zranění. (Shephard, 1991)

2.3.3 Denzitometrie

Denzitometrie je založena na dvou-složkovém modelu (tuk + FFM). Princip metody spočívá ve stanovení hustoty těla a její přepočet na podíl tukové tkáně, která se počítá podle různých rovnic. U nás je nejčastější rovnice podle Broška, Keyse a Brožka nebo Siriho (Hainer a kol, 2004). Metoda předpokládá, že denzity tuku a tuku-prosté hmoty jsou aditivní (tj. hmotnost obou složek musí dát celkovou hmotnost těla a též objemy složek musí dát objem celého těla) a u všech osob konstantní (Eston, 2001). Hydratace tuku-prosté hmoty se předpokládá také konstantní. Za konstantní se uvažuje také poměr kostních minerálů ku svalovým proteinům. (Riegerová, Ulbrichová,1993)

Při výpočtu denzity těla (D_b) se vychází ze vztahu **hmotnost = denzita x objem**, kde se objem zjišťuje například *hydrostatickým vážení, voluminometrií* nebo *pletysmografií.* Základní rovnice pro vyhodnocení procenta tělesného tuku z tělesné hustoty je dána vztahem:

$$BF\% = \frac{1}{D_b} \cdot \frac{d_f \cdot d_{ffm}}{d_f - d_{ffm}} - \frac{d_f}{d_{ffm} - d_{fm}} \cdot 100$$, **BF%**...procento tělesného tuku (body fat), d_f...hustota tuku, d_{ffm}...hustota tuku-prosté- hmoty, D_b...hustota celého těla. Standardně se předpokládají hodnoty d_f **= 0,900 g/ml** a d_{ffm} **= 1,100 g/ml** . Pak dostaneme rovnici (podle Siriho) $BF\% = \frac{495}{D_b} - 450$. Přestože lipidy jsou tvořeny nejen triglyceraldehydy, které mají hustotu **0,900 g/ml,** ale také lipidy jako cholesterol a další, které mají hustotu vyšší, zůstává udávaná hodnota hustoty tuku **0,900 g/ml,** neboť se ostatní lipidy vyskytují v tak nepatrném množství, že mají malý vliv na celkovou hustotu tuků. (Eston, 2001, Hainer a kol, 2004) Tato hodnota je vhodnou průměrnou hodnotou hustoty při teplotě **37°C**. Lokální teplota vody se může někdy od **37°C** odchýlit. I pokles o pouhý **1°C** zvyšuje průměrnou hustotu lipidů z **0,900** na **0,9007 g/ml**. (Shephard, 1991)

Výhodou metody je snadné provedení (vyžaduje pouze dobrou rovnováhu) a opakovatelnost měření. Používá se jako **referenční metoda** (Bray,1998). Nevýhoda metody spočívá v různé hustotě tuku-prosté hmoty mezi jednotlivými jedinci. Denzita se navíc mění v závislosti na hydrataci svalové hmoty a hustoty kostní tkáně. Dále např. sportovci mají husté svaly a kosti, což vede k podhodnocení podílu tuku. (Hainer, Kunešová, 1997, Shephard, 1991). Tedy

přepočet tělesné hustoty na podíl tukové tkáně musí počítat s určitou chybou odhadu. Chyba se pohybuje v rozmezí 3 – 4 % (Riegerová, Ulbrichová,1993).

2.3.3.1 Hydrostatické vážení

Metoda měří objem těla. Je založena na principu Archimédova zákona, který říká, že vztlak působící na plně ponořené tělo ve vodě je roven hmotnosti vytlačené vody. Objem těla je stanoven jako rozdíl hmotnosti těla naměřené na suchu a pod vodou (na hydrostatické váze). Provádí se oprava na hustotu a teplotu vody v okamžiku vážení. Dále se provádí korekce výsledku o objem reziduálního vzduchu v dýchacích cestách a plicích, který nadlehčuje tělo při vážení pod vodou. Gastrointestinální plyn se do korekce někdy nezahrnuje, protože se jeho množství jako faktor ovlivňující hmotnost zanedbává. Jinak byla jeho standardní hodnota stanovena na **0,1 litru**. K přepočtu naměřených hodnot hydrostatickým vážením se využívá regresních rovnic. (Eston, 2001, Riegerová, Ulbrichová,1993)

Vztah pro hodnocení hustoty těla je dána tedy rovnicí: $D_b = W_a \Big/ \left[\frac{W_a - W_s}{D_w} - (V_R + 0{,}1) \right]$,

D_b...hustota celého těla, D_W...hustota vody při teplotě ponoření, W_a...hmotnost na souši (kg), W_s...hmotnost pod vodou (kg), V_R...objem reziduálního vzduchu (l). (Shephard, 1991)

Podle jiných se udává vztah: $D_b = \frac{W_a \cdot 0{,}995}{W_a - W_s - V_R}$ (Kunešová, 2000)

Objem reziduálního objemu plic se provádí pod vodou při vážení nebo bezprostředně před nebo po vážení. Stanovení reziduálního objemu se provádí odhadem ze známých spirometrických objemů jako **20%** celkové kapacity plic nebo **30%** vitální kapacity plic (Riegerová, Ulbrichová,1993). Vyskytují se znatelné změny reziduálního objemu ze dne na den u každého daného jedince. To samo o sobě může změnit vyhodnocení obsahu tuku přibližně o **1%**. (Shephard, 1991)

Primární vybavením podvodního vážení je nádrž, do které se snadno vstupuje a snadno se z ní vystupuje. Je dostatečně velká k tomu, aby se do ní proband ponořil. Nádrž obsahuje židli se známou submerzní hmotností, ve které může být jedinec vážen. (Shephard, 1991)

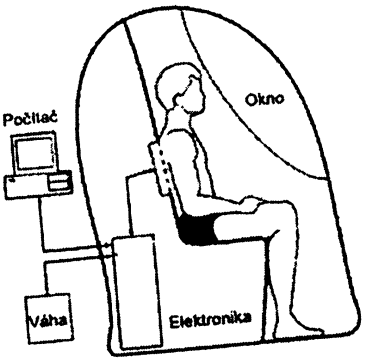
Nevýhodou metody je nutnost spolupráce probanda. Problémy mohou nastat s neplavci, dětmi a staršími nebo nemocnými osobami (Bray, 1998).

2.3.3.2 Voluminometrie (water displacement)

Metoda měří skutečný objem vody vytlačené jedincem. Výsledek je nutné opravit o reziduální objem vzduchu. Nevýhodou metody je nutnost spolupráce probanda, problémy s neplavci, dětmi a staršími nebo nemocnými osobami (Riegerová, Ulbrichová,1993).

2.3.3.3 Pletysmografie (air displacement plethysmography)

Metoda měří objem těla bez ponoření pod vodu a to prostřednictvím objemu vzduchu vytlačeného subjektem. (Shephard, 1991) Pletysmograf je tvořen vzduchotěsnou, uzavřenou nádobou (obr.4). Princip měření spočívá v malých tlakových změnách vzduchu, které jsou vyvolané pumpou o známém zdvihu. Výhodou metody je, že eliminuje nevýhody předchozích metod měření objemu těla. Dále nevyžaduje korekci na reziduální objem vzduchu (Riegerová, Ulbrichová,1993, Hainer a kol, 2004). Nevýhodou metody je menší přesnost měření při hodnocení tělesné hustoty než podvodní vážení (Eston, 2001).

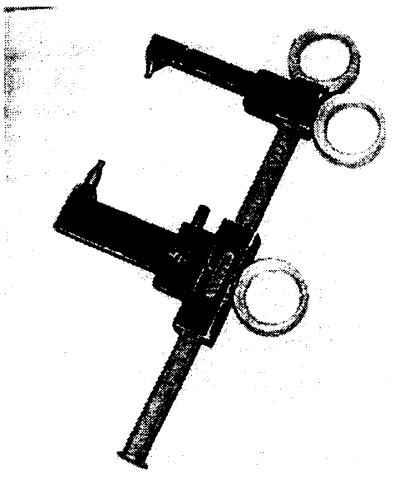


4. Obr.: Pletysmograf (Hainer a kol, 2004)

Následující metody užívají rovnice, které představují empiricky odvozené matematické vztahy mezi měřeným parametrem a procentem tuku naměřeným referenčními metodami (denzitometrie, DEXA). Tyto vztahy jsou odvozeny regresní analýzou a v typickém případě jde o prokládání jednoduchou lineární regresní křivkou nebo kvadratickou křivkou. Tyto metody jsou tedy dvojnásobně nepřímé a náchylné k chybám. Přebírají předpoklady podvodního vážení, plus se kupí předpoklady spojené se samotnou technikou (kaliperování, BIA, infračervené interakce).(Eston, 2001).

2.3.4 Antropologické metody

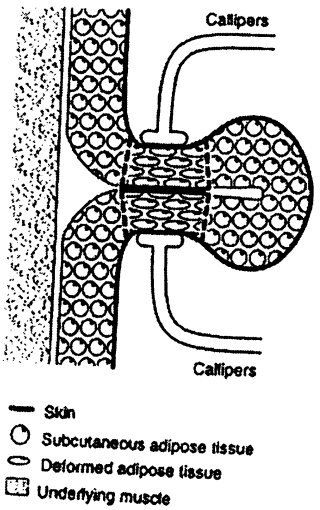
Často používanou metodou měření složení těla u nás je součet deseti kožních řas podle Pařízkové, přičemž odhad podílu tuku na základě tloušťky kožních řas je založen na následujících předpokladech, které ovšem nebyly zcela potvrzeny. Za prvé se předpokládá, že tloušťka podkožního tuku je v konstantním poměru k celkovému množství tuku. Za druhé předpokládáme, že jsme zvolili pro měření tloušťky kožních řas místa, která zastupují průměrnou tloušťku podkožní tukové vrstvy. Kaliperování měří dvojitý ohyb kůže (obr.6) a podkožní tuk prostřednictvím kalibru, který vyvíjí konstantní tlak na kožní řasu. U výše zmíněné metody se používá kalipr typu Best (obr.5). (Riegerová, Ulbrichová,1993, Hainer a kol, 2004)



5. Obr.: Kalipr typu Best (Hainer a kol., 2004)

Místo měření musí být přesně definováno, protože jak stlačitelnost, tak konečná tloušťka kožní řasy se může dramaticky měnit, jestliže měření kalibrem je posunuto několik centimetrů proximálním, distálním, mediálním nebo laterálním směrem. (Stephard, 1991) Základní podmínkou při měření je správný způsob vytažení kožní řasy, které vyžaduje odborné zaškolení a delší zkušenost. Kožní řasa se uchopí palcem a ukazovákem levé ruky ve vzdálenosti asi 1 cm od místa měření její tloušťky. Tahem oddělíme od svalové vrstvy, která leží pod kožní řasou. Je třeba řasu držet po celou dobu měření pevně. Dotykové plošky rozevřeného kaliperu se přiloží ke kožní řase ve vzdálenosti 1 cm od prstů, které svírají kožní

řasu. (Vignerová, 2001) Dále by měla být dobře definována stlačitelnost kožní řasy. (Shephard, 1991)



6. Obr.: Kožní řasa (Eston, 2001)

Při převodu lineární vzdálenosti na procenta tuku jsou vyžadovány různé předpoklady. Zaprvé se předpokládá, že stlačená dvojitá vrstva kůže a podkožního tuku zastupuje jednu vrstvu tukové tkáně. To předpokládá, že tloušťka kůže je buď zanedbatelná nebo konstantní a že tuková tkáň se stlačuje předpověditelným způsobem. Zřejmě tloušťka kůže se stlačí více u slabší kožní řasy, než u silnější kožní řasy a tedy jejich vztah nemůže být považován za konstantní. Stlačitelnost se mění s věkem, pohlavím, umístění, hydrataci tkáně, výživovým stavem a velikosti buněk. (Eston, 2001) Např. u mužů (ne u žen) je iliakální strana více stlačitelná než ostatní. Supraspinální a bicipitální kožní řasy vykazují stlačitelnost okolo 60%, zatímco kožní řasa nad stehnem a nad lýtkem jsou stlačitelné jen okolo 30%. (Shephard, 1991)

Výhodou metody je rychlost použití a možnost využití i v terénních podmínkách a ve větších studiích. Navíc kaliperování nezatěžuje probanda. Nezanedbatelnou výhodou je nízká cena. Jde o nejjednodušší metodu stanovení obsahu tuku v těle (Hainer, Kunešová, 1997).

Nevýhody metody spočívá již v samotných předpokladech. Platnost rovnice pro odhad tělesného tuku z kožních řas je omezená na populaci, ze které byla rovnice odvozena. Další nevýhodou je poměrně velká chyba odhadu a to **9 - 10%**. Je dále třeba důkladné proškolení vyšetřujícího (Riegerová, Ulbrichová,1993, Hainer a kol, 2004).

2.3.5 Další metody měření tloušťky podkožního tuku

Vzhledem k určitým chybám, ke kterým může dojít při kaliperování, byly vyvinuty další metody, které by chybovost měření snížili.

2.3.5.1 Radiografie

Princip metody tkví ve vystavění rentgenovému záření o vhodné intenzitě po vhodnou dobu. Obrys tuků a svalů může být na základě této expozice v místě snímkování zřetelně odlišen.Výhody metody spočívají v jejich vysoké přesnosti. Další výhodou je, že radiografie může být aplikována na části těla, kde kůže s podkožním tukem nemohou být rychle zvednuty k běžnému kaliperování. (Shephard, 1991) Nevýhodou radiografie je omezená možnost využití z důvodu nežádoucím vlivům rtg expozice. Dalším minusem je, že radiografie ignoruje tuk, který je uložen mezi svaly a u velmi štíhlých jedinců může být podkožní tuk tak

nepatrný, že kožní vrstva nemůže být snadno odlišena od svalstva pod kožní řasou.(Riegerová, Ulbrichová,1993, Shephard, 1991)

2.3.5.2 Ultrazvuk

Podstatou metody je využití přeměny elektrické energie ve vysokofrekvenční ultrazvukovou energii (prostřednictvím ultrazvukového přístroje o 5MHz), která je vysílaná v krátkých impulsech. Ultrazvukové vlny se odrážejí na hranicích tkání lišících se akustickými vlastnostmi. Přijímač sondy pak část ultrazvukové energie přemění opět na elektrickou energii. Takové echo je vizualizováno na osciloskopu.

Nevýhodou metody je náročnost vyšetření. Kaliprování je validnější (Riegerová, Ulbrichová,1993).

2.3.5.3 Infračervená interakce

Základem metody je absorpce a odraz světla s použitím vlnových délek v oblasti infračerveného světla. Používají se infračervené signály na biceps, kde je čten odraz jako signál pro podkožní tuk (Bray, 1998). Využívají se ***spektrofotometr*** pracující při vlnové délce 700-1100 nm (Riegerová, Ulbrichová,1993) a ***optická sonda***, která vysílá paprsek elektromagnetického záření v blízkosti infračervené oblasti. Paprsek je namířen na tělo ve specifické oblasti (např. již uvedený biceps). Srovnávací studie neprokázali výhodu ve využívání této techniky oproti ostatním metodám.(Eston, 2001)

2.3.6 Hydrometrie

Hydrometrie je soubor technik stanovující celkovou tělesnou vodu, díky které se vypočítává podíl aktivní tělesné hmoty v těle. Množství tuku = hmotnost – aktivní tělesn hmota. Metody předpokládají stav normální hydratace - **73 %**. Vychází dále z poznatku, že voda není obsažena v zásobním tuku a tvoří poměrně konstantní zlomek tuku-prosté hmoty (Riegerová, Ulbrichová,1993). Mezi metody stanovení celkové tělesné vody patří techniky založené na měření izotopu vodíku a techniky BIA, TOBEC a NMR založené na rozdílné elektrické vodivosti tkání.

2.3.6.1 Izotopy vodíku

Principem metody je skutečnost, že testovací látka (izotopy vodíku –tritium, deuterium) je rozpustná ve všech vodních prostorech těla a to během krátké doby. Dále dosahuje testovací látka během krátké doby stabilní rovnováhy a není selektivně ukládána, vylučována nebo metabolizována. V neposlední řadě je testovací látka zaměnitelná za tělesnou vodu (Riegerová, Ulbrichová,1993).

2.3.6.2 Elektrická vodivost

BIA (bioelektrická impedance)

Metoda je založena na rozdílech v šíření elektrického proudu o nízké intenzitě a vysoké frekvenci v biologických strukturách. BIA tedy měří odpor, který klade tělo při průchodu proudu.V biologických systémech je elektrická vodivost závislá na distribuci iontů a vody (Tobolková, 2001). *Aktivní tělesná hmota* je dobrým vodičem, díky obsahu vysokého podílu vody a elektrolytů. *Tuková tkáň* je oproti tomu izolátorem (Riegerová, Ulbrichová,1993). Proto tlustý člověk vede rychleji elektrický signál než štíhlý jedinec. (Shephard, 1991) Přesnost měření metodou BIA je závislá na použitém měřícím zařízení a pak na použité predikční rovnici (Bunc, 1993).

Měřící přístroje se liší podle umístění elektrod na těle. U *Bodystatu* jsou elektrody **umístěné** na pravém zápěstí a nad pravým hlezenním kloubem. *Bimanuální umístění elektrod* **znamená** lokalizaci elektrod na madlech, které se uchopují rukama. *Bipedální umístnění elektrod* znamená lokalizaci elektrod na chodidlech nášlapné váhy (Hainer a kol, 2004).

Výhodou metody je časová nenáročnost použití, nízká cena a přenosnost **měřícího zařízení.** Také nedochází k zatěžování probanda. Nevýhodou metody je vliv hydratace a distribuce tukové tkáně po těle na výsledky měření (Hainer a kol, 2004). Nelze tedy použít u osob s otoky nebo při krátkodobých redukčních režimech (Hainer, Kunešová, 1997). Je třeba provádět měření za standardizovaných podmínek jako je stejný čas měření, stejná okolní teplota, standardní umístění elektrod. Navíc jedinec musí být podobný populaci, ze které jsou standardní hodnoty vyvozeny (Bray,1998). Predikční rovnice zahrnují jako nezávislé proměnné výšku na druhou, váhu a věk. (Eston, 2001)

Rovnice je třeba ověřovat a validizovat na specifickou populaci, popřípadě se zaměřením na sportující, tak aby byly v rámci možností spolehlivé. Např. při měření gymnastek v 70. letech 20. st. byla zjištěna hodnota tuku kolem 12-14%, popř. 6-7%, zatímco již v 80. letech došlo k významnému poklesu podkožního tuku u gymnastek. Situace naznačuje, že v průběhu let došlo u gymnastek ke změně složení těla a nelze se spokojit se „zastaralými" predikčními rovnicemi. Špatné předpovědi tuku by přitom mohli mít neblahý vliv na plánování výživového a tréninkového programu. (Pařízková, 1998)

TOBEC(total body electric conducitivity = celková tělesná vodivost)

Metoda je založena na rozdílnosti elektrické vodivosti a dielektrických vlastností aktivní tukové hmoty a tuku. TOBEC stanovuje celkovou vodivost těla metodou změn elektromagnetického pole u probanda ležícího ve velké elektromagnetické cívce, která generuje toto pole. Změna pole vodivou hmotou těla je zaznamenávána měřičem impedance zabudovaným v systému. Výhoda metody je relativně nízká chyba odhadu **3,7 %.** Nevýhodou metody je vysoká cena měřících zařízení (Riegerová, Ulbrichová,1993, Kunešová, 2000).

NMR (nukleární magnetická rezonance) je zobrazovací metoda.

Metoda je založena na principu chování atomových jader jako magnetů, tj. jádra (zjm. vodíková) emitují elektromagnetické vlny, když jsou vystaveny magnetickému poli. Oddělené spektroskopické vrcholy mohou být detekovány, což se váže k emisím z vody a alifatických lipidů. Byly vyvinuty techniky, které selektivně potlačují magnetizaci vody nebo tuku aplikací protichůdného magnetického pole. Více sofistikované nástroje tedy mohou měřit a zobrazit vodu a tuk odděleně nebo společně. Jestliže se provádí celotělové snímání, je subjekt umístěn do velkého elektromagnetu chlazeného vodou nebo roztokem helia až na hodinu (Shephard, 1991) .

NMR se využívá ke stanovení distribuce tuku v těle a její výhodou je přesnost. Nevýhodou metody jsou technické problémy a vysoké náklady na pořizování zařízení (Riegerová, Ulbrichová,1993, Kunešová, 2000).

CT(computer tomography)

CT zachycuje tukovou tkáň jako tkáň s definovanou denzitou. Množství tukové tkáně lze vypočítat z plochy tukové tkáně zachycené v řadě řezů trupem. (Kunešová, 2000) Čistý obraz je zajištěn rychlým snímkováním, zjm. je-li subjekt nepokojný. Nevýhodou metody je vysoká pořizovací cena, další nevýhodou je rtg expozice. (Shephard, 1991)

2.4 Metody používané k vyhodnocení distribuce tuku v těle

Mezi metody, které se používají k vyhodnocení distribuce tuku v těle patří **CT** (computer tomography) a **MRI** (magnetic resonance imaging, též NMR). Tyto metody jsou velmi nákladné a jsou více využívány ve výzkumu než ke kontrole jednotlivců. Proto se více využívá určování distribuce tuku podle obvodu pasu, kde pro muže se za zvýšené hodnoty považuje více jak **94 cm** a u žen více jak **80 cm**. (Kunešová, 2000) Dále se uvádí poměr obvodu pasu vůči obvodu boků (**WHR**). Pro muže je navržen poměr **1:1** jako ukazatelem významného zvýšení zdravotních rizik (cerebrovaskulární onemocnění, srdeční ischémie). U žen je pak takovým ukazatelem poměr **0,8:1**. (Eston, 2001) Přestože poměr WHR byl dříve hojně používaný, dnes se již nepoužívá. (Kunešová, 2000)

3 Somatotyp

Somatotyp je definován jako kvantitativní vyjádření nebo popis přítomných morfologických tvarů člověka. Složka (komponenta) somatotypu je empiricky definována jako deskriptor určitého aspektu nebo vlastnosti lidského těla (Eston, 2001). V tělovýchově a sportu má uplatnění somatotyp modifikovanou metodou Heath-Carter (Bláha, 1990). Heathová a Carter definují tři složky somatotypu – endomorfii, mezomorfii a ektomorfii.

3.1 Komponenty somatotypu

Endomorfie hodnotí množství podkožního tuku bez ohledu na distribuci tuku. Popisuje také relativní objem břišní oblasti trupu. U *výrazně endomorfních typů* převažují zakulacené tvary a na pohmat měkké svalstvo s přemírou tuku. Obvod pasu bývá větší než obvod hrudníku. Typický je krátký krk. Obrysy ramen zpravidla zaoblené a svalový reliéf často chybí. Končetiny a trup jsou relativně krátké. Mezomorfie hodnotí mohutnost kosterního svalstva a kostry vzhledem k tělesné výšce. Dále se popisuje relativní objem hrudní oblasti trupu. *Výrazně mezomorfní typ* je osobitý hranatostí a ostrým svalovým reliéfem. Trup mívá těžký a svalnatý. Obvod hrudníku zpravidla výrazně převyšuje obvod břicha. Hrudník obvykle s širokými rameny. Pánev je mohutná. Držení těla bývá dobré, přičemž bederní lordózně je někdy mírně zvětšená. Břišní stěna pevná a nevystupuje. (Eston, 2001, Čelikovský, 1979). Ektomorfie se vztahuje k délce částí těla. *Výrazně ektomorfní typ* je svérázný křehkým zjevem, skleslými rameny a relativně dlouhými končetinami. Bederní lordóza bývá na rozdíl od mezomorfního typu malá a výše položená. Oproti tomu je hrudní kyfóza často zvětšená. Hrudník je zpravidla plochý a úzký, krk dlouhý. Vadné držení hlavy a krku bývá pravidlem. Kůže je často suchá a tenká. (Riegerová, Ulbrichová,1993, Čelikovský, 1979).

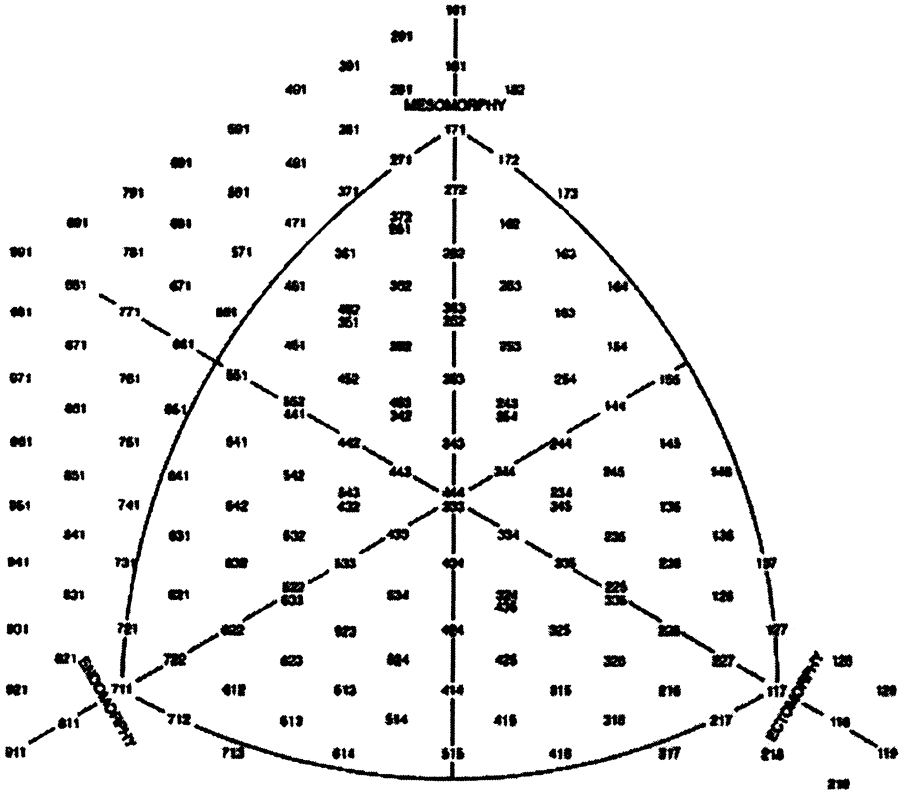
Tyto tři složky jsou ve vzájemném vtahu a vyjadřují se třemi čísly na kontinuální škále, která teoreticky začíná na 0 a shora je neomezená. První číslo z trojčíslí hodnotí tloušťku jedince, druhá hodnota odpovídá mohutnosti svalstva a kostry, třetí číslo vyjadřuje míru štíhlosti. Jedinci, kteří se výrazně odlišují svými somatotypy, se odlišují také vzhledem a tělesnou výkonností. Malá hodnota čísla značí nízký stupeň příslušné složky, zatímco vysoká hodnota čísla poukazuje na rozvoj dané složky (Eston, 2001, Štěpnička, 1987). Např. nízká hodnota endomorfie, resp. mezomorfie, resp. ektomorfie značí typ jedince s malým množstvím podkožního tuku, resp. se slabou kostrou a málo vyvinutým svalstvem, resp. s relativně krátkými končetinami (Riegerová, Ulbrichová,1993).

3.2 Somatograf

Umístění jedince na škále různých somatotypů ukazuje somatograf (obr.7), kde se v levé dolní oblasti nacházejí jedinci s velkým množstvím podkožního tuku s málo rozvinutou svalovou hmotou, v horní oblasti jsou znázorněni jedinci s vyvinutou svalovou složkou těla, ale

nepatrným množstvím podkožního tuku a v pravém dolním rohu se nacházejí velmi štíhlí jedinci s nízkým podílem jak tukové, tak svalové složky. Většina lidí přitom představuje přechodné typy, nikoli extrémní typy výše uvedené (Štěpnička, 1987).

Například žena se somatotypem 3-4 ½-2 je typem všestranné sportovkyně. Za vhodný somatotyp u dospělých mužů považujeme mezomorfní oblast nebo oblast blízko hranice mezomorfie a ektomorfie, přičemž endomorfie není vyšší jak 3. Vhodným somatotypem dospělých žen rozumíme oblasti kolem středu somatografu, kde endomorfie není vyšší jak 5, protože musíme respektovat přirozený vyšší podíl tuku u žen oproti mužům (Štěpnička, 1987).

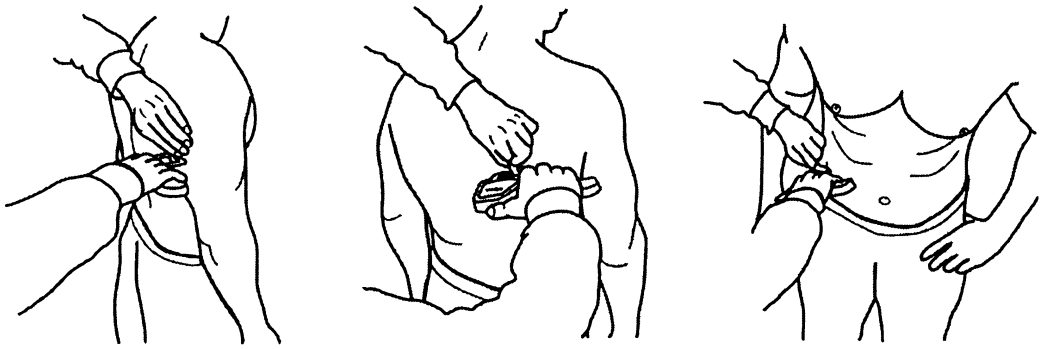


7. Obr.: Somatograf (www.sportvital.net)

3.3 Stanovení somatotypu

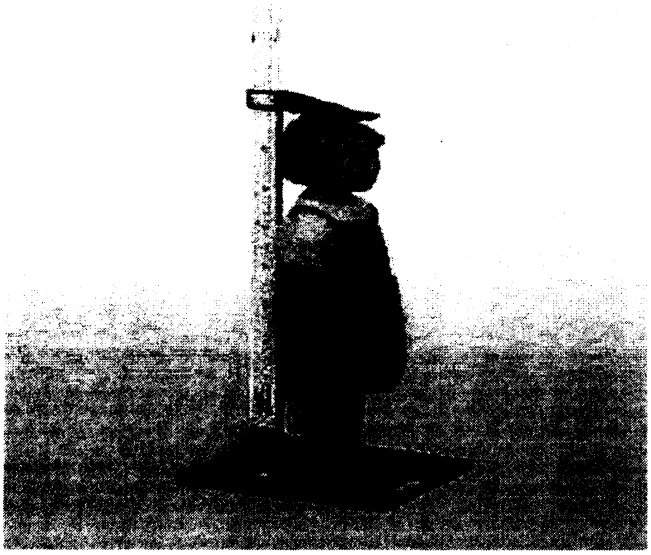
U Sheldonova postupu se využívali standardní fotografie (srovnání s atlasem) k určení somatotypu jedince. Určení somatotypu u žen však nebylo tolik přesné jako u mužů. Modifikovaná metoda podle Heath-Carter ke stanovení somatotypu začala využívat též antropometrii. To umožnilo přesnější posouzení tělesného typu také u žen a mládeže. (Čelikovský, 1979)

Somatotyp se tedy stanoví antropometrickou metodou následovně. Při hodnocení endomorfie se využívá měření podkožního tuku kaliprem nad tricepsem, pod lopatkou a nad spinou tj. tricipitální, subscapulární, suprailiakální kožní řasy (obr.8). (Riegerová, Ulbrichová,1993, Pavlík, 1999)



8. **Obr.: Kožní řasy: tricipitalní, resp. subscapulární, resp. suprailiakální (www.exrx.net)**

Naměřené hodnoty těchto tří kožních řas se sečtou a v přiložené tabulce je pak zakroužkována nejbližší hodnota. Mezomorfie se zjišťuje proměřením tělesné výšky pomocí stadiometru (obr.9). Dále se měří biepikondiální šířka humeru a femuru a obvod lýtka a paže od nichž se odečítá tloušťka příslušné kožní řasy. Ke zjištění hodnoty ektomorfie je třeba znát tělesnou výšku a tělesnou hmotnost, kdy tělesnou výšku dělím třetí odmocninou z tělesné hmotnosti. (Riegerová, Ulbrichová,1993)



9. **Obr.: Stadiometr (http://www.sportvital.net)**

3.4 Význam stanovení somatotypu

Stanovení somatotypu může být využito k popisu tělesných změn v průběhu růstu nebo tréninku, pro určení morfologických předpokladů sportovní motoriky nebo ke sledování tělesné výkonnosti. Např. dva muži se stejnou výškou a hmotností, tedy i se stejným BMI, mohou vypadat fyzicky naprosto odlišně. Jestliže jsou jejich somatotypy 6-3-1 resp. 3-6-1, již je nám na rozdíl od indexu BMI něco řečeno o složení jejich těla. Dle hodnoty endomorfie, můžeme usuzovat, že první muž bude méně výkonný než druhý muž. Patrně se také na celkové hmotnosti těla uplatňuje více tuková složka než svalová, zatímco u druhého muže je tomu naopak. Znalost jednotlivých tělesných typů je důležité pro dávkování tréninků i pro výběr vhodných adeptů pro určitou sportovní specializaci.(Eston, 2001, Čelikovský, 1979)

4 BMI (Body mass index)

BMI je zkratka anglického slova body mass index. Značí poměr váhy ku výšce a vypočítá se jako hmotnost vyjádřená v kilogramech vydělená druhou mocninou výšky v metrech. Tento index tělesné hmotnosti definoval v roce **1836 Adolf Quetelet** na základě vyšetřování belgické populace. V dnešní době se hojně používá při klasifikaci obezity v klinické praxi (Hainer a kol, 2004).

4.1 BMI jako standard pro stanovení kategorie hmotnosti

BMI je nejpoužívanějším standardem pro stanovení stupně nadměrné hmotnosti (Bray, 1998). Přestože je BMI považován za dostatečně přesný ukazatel složení těla (z hlediska epidemiologických studií), může vést k chybné diagnóze. Jednak může dojít k chybné diagnóze obezity u osob s mohutně vyvinutou svalovou hmotou, nebo naopak nezařazení osoby s vysokým podílem tuku do kategorie obézních (Hainer a kol, 2004). BMI je dobrý ukazatel tloušťky v populaci, jejíž jedinci mají nadměrnou hmotnost díky zmnožení tuku, ale nehodí se k posouzení tloušťky atletů (Eston, 2001).

K přiměřenému vztahu hmotnosti těla a rozměrům kostry je třeba dojít rozborem vztahů, které existují mezi těmito rozměry ve vhodném souboru jedinců. Často se odvozuje vhodná hmotnost těla z tělesné výšky. Vzhledem k tomu, že hmotnost koreluje také s obvodem hrudníku, doporučuje se vzít v úvahu při stanovení adekvátní hmotnosti vedle výšky také právě tento rozměr. Metodou, kterou se předpovídá přiměřená hmotnost ze známých hodnot výšky, je regresní analýza. (Bláha, 1987)

4.2 Výhody při použití BMI

Nepopiratelnou výhodou BMI je jeho jednoduchost a levnost. Hodnoty BMI se dají dobře použít na jedince, které jsou podobní populaci, ze které byli hodnoty odvozeny. To znamená jedinci se sedavým zaměstnáním a fyzicky neaktivní.

4.3 Nevýhody při použití BMI

Nevýhodou BMI je, že neodráží podíl tuku a beztukové hmoty. Například ženy mají, jak bylo řečeno výše, větší podíl tuku než muži při stejném BMI. Starší jedinci mají při stejném BMI vyšší procento tuku než mladší jedinci. Odlišnosti jsou patrné i mezi různými etnickým skupinami, např. při stejném BMI mají běloši vyšší procento tuku než Polynésané.

Problém nastává též u sportovců. Procento tuku u sportovců z různých zaměření (vzpěrač kontra gymnasta) se může při stejném BMI lišit v závislosti na rozvoji svalové hmoty. Podle tabulek sestavených pro běžnou populaci se sedavým zaměstnáním, pak kulturisti mohou spadat do kategorie obézních, přestože k nadměrnému hromadění tuku nedošlo (Hainer, Kunešová, 1997). BMI tedy hodnotí hmotnost vzhledem k tělesné výšce bez ohledu na robustnost kostry, rozvoj svalstva a tukové tkáně (Bláha et al., 1990).

5 Sport

Měřením a vývojem tělesných znaků spolu s měřením a vývojem rozdílných aspektů lidského pohybu a jejich rozdílností mezi jednotlivými jedinci se zabývá **kinantropometrie**. Všímá si tělesných rozdílů mezi jedinci a zjišťuje, které odlišnosti podmiňují rozdíly v motorických projevech.

Metodami kinantropometrie jsou ***antropometrie***, resp. ***motometrie*** – proměřují tělesné rozměry, somatotyp, proporcionalita a složení těla, resp. tělesná výkonnost a celostní motorická funkce. Jak antropometrie, tak měření motorických projevů musí být

standardizována (tj. musí být reliabilní, validní, objektivní a musí pro ně **existovat** odpovídající normy). Motometrie zahrnuje motorické testy. Nejčastější **antropometrickou** terénní metodou je kaliperace. Data získaná těmito metodami se dále statisticky **zpracovávají.** (Štochl, 2001)

Příkladem oblastí, kterými se kinantropometrie zabývá je sledování vztahu mezi **tělesným** typem, výkonností a tělesnou zdatností, dále vztahy mezi proporcionalitou a **motorikou** a v neposledku také vztahy mezi složením těla a motorickými funkcemi. (Štochl, 2001)

5.1 Sport a měření fyzické zdatnosti

Fyzickou zdatností rozumíme schopnost provádět denní úkoly s živostí, bdělostí a přiměřenou únavou. Přitom si zachovat dostatek energie k provozování aktivit během volného času a pro vyrovnání se z běžným fyzickým stresem, se kterým se potýkáme v krizových situacích. Někdy se rozlišuje zdatnost spojená se zdravím (ta zahrnuje kardiovaskulární odolnost, svalovou sílu, ohebnost a složení těla, zjm. tloušťku) a zdatnost spojená s výkonem (ta zahrnuje rovnováhu, koordinaci, sílu, rychlost, vytrvalost,...). (Mascie-Taylor, 1991)

Fyzickou aktivitou rozumíme jakýkoli pohyb těla způsobený kosterním svalstvem, který je doprovázen výdejem energie. Tréninkem oproti tomu rozumíme pravidelnou, systematickou fyzickou aktivitu o specifické intenzitě a čase provozované za účelem účasti v soutěži. (Mascie-Taylor, 1991)

Trénovanost je výsledkem systematického cvičení. Trénovaností rozumíme přizpůsobení organismu k opětovné velké námaze, které je výsledkem přestavby organismu sportovce (počínajíc nervovou činností a končíc činností sval a vnitřních orgánů). Přeruší-li se trénink, vyhasínají již vytvořené podmíněné spoje, snižuje se svalová hypertrofie a zanikají nové biochemické vlastnosti. Vyvrcholením trénovanosti říkáme „sportovní forma". Jde o stav nejvyšší trénovanosti, které trvá maximálně 2-3 měsíce. Jde tedy o stav velmi labilní. (Král, 1956)

Součástí posuzování schopnosti člověka k pohybové aktivitě jsou zátěžové testy, které jsou založeny na měření tepové frekvence a krevního tlaku po určitém zatížení. (Riegerová, Ulbrichová, 1993). Příznaky trénovanosti v klidovém stavu jsou zejména snížení teploty, nízký bazální metabolismus, zpomalení frekvence, zmenšení tepového objemu. Dalšími ukazateli jsou nízký krevní tlak, snížení hladiny krevního cukru a kyseliny mléčné, vyšší alkalóza a kalcémie. Nezapomeňme na zvýšení svalového tonu, vysoké hodnoty vitální kapacity plic a jiné další. (Král, 1956)

5.1.1 Plicní objemy, kapacity a jejich měření

5.1.1.1 Objemy a kapacity plic

Po normálním klidném výdechu se plíce a hrudník nacházejí v uvolněném středním postavení – v klidové dechové poloze. Při normálním nádechu, resp. výdechu v klidu je vdechnuto, resp. vydechnuto zpravidla **0,5 litru** vzduchu (**VT**). Při maximálním úsilí však mohou být vdechnuty ještě přibližně **3 litry** (**IRV**), resp. vydechnuty asi **1,7 litrů** (**ERV**). *Dechový objem (VT)* je tedy množství vzduchu při výdechu nebo nádechu v klidových podmínkách. *Inspirační rezervní objem (IVT)* je množství vzduchu, které lze vdechnout po klidném nádechu a *expirační rezervní objem (EVT)* je množství vzduchu, které lze vydechovat po klidném výdechu. Tyto rezervní objemy se využívají při zvýšených nárocích, kdy např. při zvýšené tělesné námaze normální dechové objemy pro potřebnou výměnu plynů nestačí. Nicméně i po maximálním výdechu zbude v plicích ještě **1,3 litrů** plynu (**RV** = reziduální

objem). Součty těchto jednotlivých objemů dávají kapacity. Uvedené hodnoty platí pro podmínky **BTPS**. (Silbernagl, 2004, Riegerová, Ulbrichtová, 1993).

Vitální kapacitou plic (**VC**) rozumíme součty následujících: VC = VT + IRV + ERV. Pro orientaci: vitální kapacita plic pro 20-ti letého muže vysokého 180 cm je zhruba 5,3 litrů. Zatímco VC se stářím klesá, RC oproti tomu stoupá. *Celková kapacita plic* (**TLC**) zahrnuje jak vitální kapacitu plic, tak reziduální objem, tj. TLC = VC + RV. *Funkční reziduální kapacitou* (**FRC**) rozumíme součet ERV + RV. Je to objem plynu, který se nachází v plicích po normálním výdechu. (Silbernagl, 2004, Riegerová, Ulbrichtová, 1993).

5.1.1.2 Měření objemů a kapacit

Všechny objemy až na RV mohou být měřeny **spirometrem**. RV se dá měřit nepřímou metodou např. inertním plynným roztokem nebo plethysmografií. Spirometrem se dá měřit také **FVC** (*usilovná vitální kapacita* – množství vzduchu důrazně vydechnutého po maximálním nádechu). Hodnoty FVC se pohybují normálně kolem **3 až 5 litrů** v závislosti na věku, pohlaví a výšce člověka. Nevýhodou měření spirometrem je závislost na úsilí probanda, který musí spolupracovat, cítit se pohodlně a být schopný vydat ze sebe nejlepší výkon. Proto je také těžké interpretovat výsledky měření. (Martin, 1987)

Výše uvedené objemy a kapacity u jednotlivých osob silně kolísají v závislosti na věku, tělesné výšce, pohlaví a stupni trénovanosti. VC může být jak **2,5 l**, tak také **7 l**, aniž by hodnoty byly patologické. Standardizaci VC pro evropskou populaci umožňuje užití empirických vzorců, kdy pro muže platí vztah:
VC = 5,2.tělesná výška (m) – 0,022.věk(roky) – 3,6 (± 0,58) a pro ženy platí vztah:
VC = 5,2.tělesná výška (m) – 0,018.věk(roky) - 4,36 (± 0,42). (Silbernagl, 2004)

FRC a RV můžeme změřit metodou ***zřeďování testovacího plynu***, tím ovšem zachytíme pouze ventilované prostory plic. Pokud použijeme ke stanovení FRC a RV ***celotělovou pletyzmografie***, postihneme i uzavřené prostory, které jsou vyplněné vzduchem. V tomto případě proband sedí ve vzduchotěsné komoře a dýchá přes přístroj – *pneumotachograf*. V ústech a v komoře jsou průběžně registrovány změny tlaku vzduchu závislé na dýchání. (Silbernagl, 2004)

5.1.1.3 Vztah tělesného vývoje k jednotlivým kapacitám

Výborná funkce dýchací soustavy není kritická jen pro zajištění energetických potřeb, ale také pro kvalitu rychlého rozhodnutí během krátkého času např. při hokejovém zápase. Spirometrické vyšetření je užitečným prostředkem ke stanovení trénovanosti sportovců. (Scholzová, 2003) Ukazateli zvyšující se trénovanosti sportovce jsou mimo jiné zvyšující se vitální kapacita plic, zpomalení dechu a zvětšení obvodu hrudníku, přičemž někdy bývá užitečnější stanovit pružnost hrudníku – tedy rozdíl obvodu hrudníky při maximálním nádechu a po maximálním výdechu. Pokles VC po cvičení je u dobře trénovaných jedinců malý nebo žádný. (Král, 1956) Vyšší hodnoty VC u sportovců mají za následek také vyšší maximální minutovou ventilaci, dechovou rezervu a usilovný výdechový objem. (Scholzová, 2003) Dále má tělesný vývoj vztah k FVC. Vyšší hodnoty usilovné vitální kapacity jsou spojeny s lépe vyvinutou výškou a hmotností (Ignasiak a kol.,1999).

U sportů, které vyžadují vytrvalost, je důležitý rozvoj aerobní kapacity. (Scholzová, 2003) Ukázalo se u mladistvích a dospělých, že rozvoj LBM (lean body mass) je souběžný s rozvojem aerobní kapacity. Proběhli výzkumy též u různých druhů sportů. Ze studií vyplynulo, že např. pro vzpěrače není aerobní kapacita rozhodující pro výkon, zatímco u lyžařů, plavců a běžců hraje aerobní kapacita důležitou roli. Dále byl objeven vztah mezi maximální spotřebou kyslíku a LBM u vzpěračů a běžců. U lyžařů takový vztah zjištěn nebyl, což je

dáno až sekundárním významem somatických faktorů pro výkon. Důležitější pro tuto skupinu sportovců je technika (Pařízková, 1977).

5.1.2 Hodnocení krevního tlaku

Krevním tlakem rozumíme tlak krve v tepnách systémového oběhu. ***Systolickým tlakem*** chápeme tlak v aortě, který vzniká během vypuzovací fáze systoly. Stoupá až k maximu. ***Diastolický tlak*** je tlak v aortě, který vzniká při systolické napínací fázi. Klesá až na minimum. ***Hypertenze*** (vysoký krevní tlak) se definuje jako chronické zvýšení systémového arteriálního tlaku krve. Neléčená hypertenze zatěžuje levou komoru a dlouhodobě vniká insuficience levého srdce. Dále je vysoký krevní tlak rizikovým faktorem pro aterosklerózu. Pro prokrvení periferie je rozhodující ***střední krevní tlak***. (Silbernagl, 2004)

Do věku 45 let se dají v klidu naměřit normální hodnoty $\mathbf{Tk_{diast}}$ **60-90 mm Hg** a $\mathbf{Tk_{syst}}$ **100 - 140 mm Hg**. Pro 45 leté a 60 leté se považuje za normální také $\mathbf{Tk_{syst}}$ do **150 mm Hg** a pro starší 60 let $\mathbf{Tk_{syst}}$ do **160 mm Hg**. (Silbernagl)

Oběhový systém trénového sportovce vykazuje následující charakteristiky. Oběhový systém funguje dobře jak v klidu, tak také při maximální námaze. Sportovec je schopen rychlého přechodu z klidové do maximální funkce oběhového systému. Trénovaný jedinec též vykazuje schopnost rychlého a plynulého návratu z maximální výkonnosti na výkonnost klidovou. (Král, 1956)

5.1.3 Měření svalové síly

Svalová síla se měří pomocí *dynamometru*. Sledování dynamometrických ukazatelů podává obraz o tělesné zdatnosti normální populace nebo o fyzické připravenosti sportovce. (Riegerová, Ulbrichová, 1993)

5.2 Sport a podíl tuku

Tělesný tuk je důležitou složkou lidského těla. Zásoby tuku představují největší zásobárnu energie. Na druhé straně nadbytek tuku způsobuje řadu problémů – počínaje motoricko-kloubními potížemi až po výskyt diabetes mellitus (2.typ), vysokého krevního tlaku a výskyt srdečních chorob (Silbernagl a kol.,2004). Podíl tuku v těle a složení těla jsou přitom ovlivněny pohlavím, věkem, stupněm fyzické aktivity a hormonálním stavem (Bray, 1998). Složení těla u vrcholových sportovců není ovlivněno jen energetickými požadavky, ale také povahou sportovního výkonu a specifickými adaptivními změnami organismu s ohledem na potřeby. (Pařízková, 1977)

5.2.1 Podíl tuku a výkon sportovce

Pro řadu sportů je zvýšený podíl tuku brzdícím faktorem výkonu – např.pro běžce na dlouhé tratě, gymnasty. Jsou to zejména sporty, kde je třeba pohybovat vlastním tělem. Zde se každé zvýšení tuku projeví na výkonu. Pro gymnasty jsou složení těla a váha velmi důležité faktory pro výkon. Naproti tomu u lyžařů, volejbalistů, hokejistů nehraje složení těla pro výkon takovou roli jako spíše funkční faktory (neurosvalová koordinace, aerobní kapacita). Naopak u statických sportů – např. vzpěračů – je procento tuku v těle bez vlivu na výkon. U plavců, kde bývá oproti jiným sportovním odvětvím také vyšší procento tuku stejně jako u vzpěračů, může dokonce hrát tuk pozitivní úlohu v termoregulaci, vznosnosti a snižování gravitace. (Pařízková, 1997)

Další sportovní skupinu představují sumo zápasníci, kteří mají jak vysoký podíl LBM, tak i vysoký podíl tuku. Podílem tuku se rovnají hodnotám skutečně obézních lidí. S vysokým zastoupením tukové složky je spojená zhoršená glukózová tolerance, vysoká hladina insulinu

a krátká délka života (Pařízková, 1997). Optimální podíl tuku se tedy liší z hlediska žádoucího výkonu sport od sportu.

5.3 Sport, somatotyp a antropometrické ukazatele

5.3.1 Faktory podílející se na utváření somatotypu

Lidé žijící za různých ekologických, výživových a pracovních podmínek mají různou fyzickou zdatnost, nemocnost a úmrtnost (Pařízková, 2004). Na utváření konstituce a složení těla má mj. vliv typ provozovaného sportu (Přidalová, 1999). Přičemž teprve dlouhodobá – několikaletá intenzivní tréninková zátěž vyvolává zřetelné změny v tělesných proporcích, především ve svalově kosterním aparátu. (Pavlík, 1999) Každý člověk může reagovat na pohyb a vhodnou životosprávu různým způsobem podle toho, jakým je tělesným typem (Štěpnička, 1987).

Jako je specifická zátěž v jednotlivých sportovních odvětvích, tak je také specifická adaptace organismu. Projevem takové adaptace je zejména svalová hypertrofie,což je ukázáno níže u určitých sportovních disciplín. Přitom lze rozlišit „morfologickou hypertrofii"(pod vlivem posilování těžkými břemeny) a „funkční hypertrofii" (pod vlivem dynamického posilování). V prvním případě se zvětšuje průřez a objem svalů, zatímco v druhém případě se příliš průřez, ani objem svalů nezvětšuje. Svaly hypertrofované prvním způsobem nejsou schopny vyvinout takovou sílu, jak svaly hypertrofované druhým způsobem. (Pavlík, 1999) Nejpoužívanější metodou hodnocení postavy je metoda stanovení somatotypu podle Heath-Cartera(Vlášková, Číhák, 1999).

5.3.2 Somatotyp a výkonnost jedince

Jedním z hlavních faktorů, které ovlivňují fyzický výkon člověka je jeho somatický profil (Vlášková, Číhák, 1999). Na nižším výkonnostním stupni se setkáváme s většími odchylkami od „optimální" tělesné stavby sportovců. (Pavlík, 1999) Určité somatické typy, které mají morfologické předpoklady pro výkon jistého druhu, volí specializované sportovní disciplíny. Například pro běh a volejbal jsou vhodnější vysocí jedinci s relativně dlouhými končetinami, relativně úzkými rameny a pánví. Pro gymnasty a vzpěrače jsou výhodné naopak kratší postavy s relativně krátkými končetinami a relativně širokými rameny. (Pařízková, 1977)

Rozdíl somatotypu u sportovců a běžné populace

Zatímco některé sportovní specializace, např. gymnasté, se od nesportovní populace svým somatotypem odlišují, jiné sportovní specializace např. lyžaři, hokejisté a kanoisté se od normální populace příliš neliší. (Pařízková, 1977) Somatotyp sportovce může být tedy významnějším nebo méně významným faktorem určujícím výkonnost v daném sportu. (Pavlík, 1999)

Složky somatotypu a výkonnost

Endomorfní složka somatotypu je považována za „brzdící faktor". Pro ilustraci, tato složka je u gymnastů zastoupena oproti nesportovní populaci studentů velmi málo. Pro výkonnost u gymnastů je rozhodující zejména mezomorfní komponenta, zatímco ektomorfie je u nich zastoupena zřídka. Tělesná stavba je tedy velmi důležitým faktorem, který ovlivňuje výkonnost ve sportovní gymnastice. (Pavlík, 1999)

Tělesná výkonnost postupně klesá, je-li rozdíl mezi endomorfní a mezomorfní složkou větší jak **1,5**. Ektomorfové nebo mezomorfní ektomorfové dosahují dobré výkonnosti v testech motorického nadání, které obsahují prvky ohebnosti, rovnováhy a složitější koordinace. Mezomorfie ohodnocena **patým** a vyšším stupněm poskytuje úspěšnost v obecné motorické výkonnosti, zatímco nejvyšší stupeň mezomorfie – **šestý** a **sedmí** stupeň – se pak uplatňuje

v silových testech. Endomorfové vykazují nejnižší výkonnost ve všech testech, zjm. je-li endomorfie ohodnocena číslem vyšším jak **čtyři**. Patrně však také záleží, v jaké kombinaci se v tělesném typu nalézá endo-mezomorfní složka. Podle Pavlíka nejméně ovlivňuje výkonnost ektomorfní složka somatotypu. Dále se udává, že ektomorfie je výhodná pro pohybové schopnosti (pohyblivost, obratnost, lokomoční vytrvalost). (Čelichovský, 1979, Pavlík 1999)

Sport a somatotyp

Běžci mají zpravidla somatotyp okolo ekto-mesomorfie, plavci patří mezi centrální typ nebo jsou endo-mezomorfní. Gymnasté, jak již bylo řečeno výše, mají nízké hodnoty v endomorfní složce a patří mezi mezomorfy nebo ekto-mezomorfy. U boxerů naopak vidíme tendenci ke zvýšení endomorfie i mesomorfie a snižování ektomorfie se zvyšující se hmotností. Vzpěrači jsou nejvíce mesomorfní sportovci. Mají navíc velmi nízký poměr váhy ku výšce a nízké hodnocení ektomofie.(Carter, 1974)

Dalším příkladem utváření tělesné stavby jsou tenisoví hráči (výzkum u jedinců ve věku od 8 do 12 let), které lze zařadit většinou do kategorie mezomorfů - ektomorfů s potlačenou tukovou složkou a nadprůměrně zastoupenou kostní složkou na úkor svalové složky oproti hodnotám získaným při výzkumu české dětské populace z roku 1986 (Přidalová, 1999).

Endomorfie ve sportu

Obecně gymnasté a běžci na dlouhé tratě jsou výrazně méně endomorfní než ostatní skupiny. Sprinteři a cyklisté jsou méně endomorfní než basketbalisté, veslaři a plavci. Hráči vodního póla jsou výrazně více endomorfní než ostatní skupiny. Ještě více endomorfní než hráči vodního póla jsou ale muži z referenční skupiny a vrhači. (Carter, 1974)

Mezomorfie ve sportu

Nejvíce mezomorfní jsou mezi sportovci gymnasté. Nejnižší hodnoty byli zjištěny u mužů z referenční skupiny, basketbalistů a u běžců na dlouhé tratě. (Carter, 1974)

Ektomorfie ve sportu

Nejvyšší hodnoty ektomorfie náleží sportovcům z řad běžců na dlouhé tratě a basketbalistů. Ve skupině žen jsou více ektomorfní gymnastky, sprinterky a plavkyně než kanoistky nebo vrhačky. (Carter, 1974)

5.3.3 Složení těla, antropometrické ukazatele a sport

Sport a složení těla.

Ve studovaném souboru sportovců měli nejvyšší procento LBM dálkoví běžci, zatímco nejnižší podíl LBM plavci. Dále nejvyšší absolutní hodnotu LBM měli vzpěrači a nejmenší absolutní hodnotu LBM měli hráči volejbalu, hokeje a gymnasté. V souboru měli největší absolutní hodnotu tělesného tuku plavci, vzpěrači a netrénovaní lidé. (Pařízková, 1977)

Sport a antropometrické ukazatele

Relativně krátký krk vykazují zápasníci a vzpěrači. Největší obvody hrudníku se ukázaly u vzpěračů, zápasníků, vrhačů i plavců a veslařů. Nejmenší obvody hrudníku proti tomu mají obecně běžci, šermíři, atd.. Největší pružnost hrudníku byla zjištěna u plavců, sprinterů, vytrvalců, lyžařů, zápasníků a vrhačů. Dlouhé dolní končetiny mají zejména skokani a běžci. Největší obvod stehna byl naměřen u vrhačů, vzpěračů, plavců a fotbalistů. (Král, 1956)

U zápasníků je typická vzrůstající výška a šířka, prodlužující se trup a končetiny se zvyšující se sportovní váhovou kategorií. (Carter, 1974)

Výška ve sportu

Nejnižší jedinci ve sportu patří mezi gymnasty. Nízkou postavu mají také vzpěrači, zatímco nejvyššími sportovci jsou basketbalisté. Střední výšku mají kanoisté, hráči vodního pólo, plavci, kteří jsou vyšší než sprinteři, cyklisté a běžci na dlouhé tratě. Muži z referenční skupiny jsou menší než sportovci až na gymnasty. (Carter, 1974, Pařízková, 1977)

Hmotnost ve sportu

Nejlehčími sportovci jsou gymnasté a běžci na dlouhé tratě. Oproti tomu veslaři jsou významně těžší než ostatní skupiny. Mezi sportovce s vyšší hmotností patří také vzpěrači a plavci. Muži z referenční skupiny jsou lehčí než sportovci až na gymnasty a běžce na dlouhé tratě. (Carter, 1974, Pařízková, 1977)

Biacromiální a biiliocristalní šířka ve sportu

Basketbalisté, veslaři, hráči vodního pola mají významně širší ramena než běžci na dlouhé tratě a cyklisté. Nejužší ramena mají muži z referenční skupina pokud nepočítáme běžce na dlouhé tratě.

Veslaři a basketbalisté mají nejširší pánev, zatímco nejužší pánev mají gymnasté, sprinteři a běžci na dlouhé tratě. Muži z referenční skupiny nabývali středních hodnot v šířce pánve. (Carter, 1974)

Délka horních a dolních končetin

Nejdelší paže mají basketbalisté, těsně za nimi se umístili veslaři. Nejkratší paže byli zjištěny u gymnastů. Nejdelší nohy náleží basketbalistům. Po nich mají také dlouhé dolní končetiny veslaři. Nejkratší nohy byli zaznamenány u gymnastů. (Carter, 1974)

Délka trupu

Nejdelší trup mají basketbalisté a veslaři, zatímco gymnasti mají trup nejkratší. Muži z referenční skupiny se délkou trupu blíží sprinterům. (Carter, 1974)

Regionální svalový a kostní vývoj u sportovců

Hráčky volejbalu, basketbalu a handbalu nemají příliš svalnatá těla až na silně vyvinuté svalstvo paží. U sprinterů byl zjištěn větší průřez svalů v oblasti stehna oproti např. maratóncům. Tenisté mají výrazně vyvinuté svalstvo předloktní. Vrhači mají mnohem více vyvinuty paže než lýtka. (Shephard, 1991) Oproti tomu komplexní svalový rozvoj vyžadují sportovní disciplíny jako je zápas, vzpírání, běh na lyžích, atd.. (Pavlík, 1999)

Při studiu tenistů a basketbalistů se ukázalo, že jejich dominantní paže oproti druhé paži má delší, širší a více robustní kosti s vyšší mineralizací a hustotou. Běžci na dlouhé trati mají podle jedné studie vyšší hustotu dlouhých kostí než jejich vrstevníci. Byl také zjištěn vyšší kostní minerální obsah femuru a humeru u sportovců oproti kontrolní skupině. U maratónců byla zaznamenána zvýšená absolutní hodnota kostní hmoty. (Shephard, 1991)

5.4 Sport a BMI

Rozbor korelace vztahů BMI a tělesného složení u studentů TV poukazuje na nejtěsnější vztahy ke svalové složce těla, zatímco spojení s hmotností tukové složky byly středně silné a vztahy s hustotou kostí na hranici slabých a středně silných korelačních vztahů (u mužů). Je tedy naznačeno, že BMI není vhodným ukazatelem optimální hmotnosti u populace s vysokou tělesnou aktivitou. (Riegerová, Ulbrichtová, 1993)

Změna hmotnosti v průběhu tréninku a po jeho přerušení

Hmotnost zpravidla během počátku tréninku (první týdny) zvolna klesá, až se ustálí na určité hodnotě, na které setrvává sportovec po celou dobu hlavního tréninkového období. Se zmírněním nebo dokonce vynecháním tréninku na delší dobu hmotnost stoupá. Podle Krále má sportovec optimální hmotnost v době své nejlepší formy – v době, kdy dosahuje svých nejlepších výkonů. Nápadné klesání váhy bývá spojováno s přetrénováním nebo onemocněním. Přibírání na váze naproti tomu je známkou příliš malých tréninkových dávek nebo nevhodné diety. (Král, 1956)

Během intenzivního tréninku se může tělesná hmotnost zvyšovat, zatímco se snižuje podíl tuku v těle. Pak je nárůst LBM vyšší než nárůst hmotnosti. Může se zdát, že je třeba hmotnost snížit. To by ovšem bylo na úkor LBM, což je z hlediska podání výkonu nežádoucí (Pařízková, 1997). Nárůst hmotnosti tedy vždy nemusí být ukazatelem zmnožení tuku.

Naproti tomu u dobře adaptovaných sportovců přerušení nebo redukce tréninku znamená přibrání tuku a to dokonce i při úpravě jídelníčku. Zvýšení hmotnosti může být maskováno hladověním nebo masivním pocením. Nicméně při měření tělesného složení se zvýšení tělesného tuku odhalí. (Pařízková, 1997)

5.4.1 Anorexie mezi sportovci

Představí-li si někdo sportovce jako výkonného jedince s nezlomným zdravím a postavou bez jediného „gramu tuku", možná ho překvapí, že i sportovci mají potíže s hmotností, s čímž se vážou různé potíže. Např. sportovkyně mají častěji amenoreu, což je spojováno s relativní tloušťkou, která se ovšem (stejně jako hmotnost) neukázala být primárním faktorem ovlivňující menstruační dysfunkce. Větší zpoždění menarche se přesto vyskytuje u sportovních disciplín, které dávají důraz na nižší hmotnost (ta může být nízká v důsledku vyselektování jedinců daného druhu sportu nebo v důsledku držení diet). Výskyt menstruačních dysfunkcí může být způsobeno nedostatkem proteinů ve stravě. (Mascie-Taylor, 1991)

Mezi sportovce, v nichž je štíhlá postava nezbytným předpokladem úspěšné kariéry, patří zjm. gymnastky, baletky a tanečnice (Stodolová, 2004). V těchto skupinách je pak oproti skupinám kontrolním vyšší výskyt poruch příjmu potravy. Významně více se obávaly tloušťky studentky z taneční konzervatoře, stejně tak se více nutkavě zabývaly jídle a projevovaly dietní chování (Stodolová, 2004). Rozdíly v příznacích poruch příjmu potravy ukazuje následující tabulka.

PŘÍZNAKY PORUCH PŘÍJMU POTRAVY

	Vyšší než kritický skór v dotazníku EAT	Body mass index ≤ 17,5	Amenorea delší než 3 měsíce	Přejídání častěji než jednou týdně	Nespokojenost s tělem
Taneční konzervatoř	18,8 %	32,7 %	12,0 %	9,6 %	58,3 %
Kontrolní soubor	9,2 %	6,1 %	1,3 %	3,1 %	55,2 %

3. Tab.: Srovnání příznaků poruch příjmu potravy mezi studentkami taneční konzervatoře a kontrolní skupinou (Stodolová, 2004)

Dále se ukázalo, že se dívky z taneční konzervatoře liší od ostatních v míře a způsobech snižování hmotnosti, kdy více cvičí pro krásu a postavu a více drží diety (Stodolová, 2004). Další charakteristiky ukazuje tabulka níže.

ZPŮSOBY SNIŽOVÁNÍ HMOTNOSTI			
	Každodenní držení diet	Každodenní cvičení kvůli váze a postavě	Léky na zhubnutí častěji než 1x měsíčně
Taneční konzervatoř	12,5 %	36,9 %	2,9 %
Kontrolní soubor	3,6 %	13,9 %	2,8 %
	Úmyslné zvracení častěji než 1xměsíčně	Užívání projímadel častěji než 1xměsíčně	Užívání diuretik jednou za měsíc
Taneční konzervatoř	4,8 %	1,9 %	1,9 %
Kontrolní soubor	2,8 %	1,5 %	1,5 %

4. Tab.: Srovnání způsobů snižování hmotnosti mezi studentkami taneční konzervatoře a kontrolní skupinou (Stodolová, 2004)

Při mentální anorexii zůstává v organismu určité množství tuku a další snižování hmotnosti a BMI je dáno ubýváním aktivní tělesné hmoty, což je pro výkon gymnastky nepříznivé. (Pařízková, 1998)

5.4.2 Sport a nadměrná váha

V předchozích odstavcích byla zmíněna souvislost s nadměrnou váhou a výskytem určitých zdravotních rizik a zvýšenou úmrtností. Jak je tomu u sportovců. Mají optimální hmotnost a lze u nich očekávat dlouhověkost?

Výzkumy zaměřené na sportovce a dlouhověkost jsou ztíženy tím, že sportovci jsou vysoce vyselektovanou skupinou z hlediska ovládání určitých dovedností, z hlediska typu postavy i stupně vzdělání. Je tedy zdůrazněna potřeba adekvátní kontrolní skupiny. (Mascie-Taylor, 1991)

Sportovci ze specializací jako je americký fotbal nebo baseball mají tendenci být více mezomorfní a endomorfní. Obě složky jsou pozitivně spojeny s kardiovaskulárními onemocněními a úmrtnostní, a proto jsou negativně spojeny s dlouhověkostí. Nicméně fyzicky aktivní jedinci se dožívají obecně vyššího věku. (Mascie-Taylor, 1991) S nadměrnou hmotností se setkáváme u již zmíněných sumo-zápasníků, kteří se nedožívají příliš vysokého věku.

Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo shrnout základní problematiku, která se pojí s adekvátním ohodnocením tělesné hmotnosti pomocí indexu BMI a podílu tuku u sportovců, a pokud možno postihnout tuto problematiku v její komplexnosti.

Již ohodnocení optimální tělesné hmotnost a podílu tuku u „obyčejného" člověka nemusí být úplně triviální. Natož pak u člověka, který je zaměřen na sportovní výkon, jež je mj. ovlivněn právě hmotností a podílem tuku. Setkáváme se s dilematem volby jednoduché, levné a dostupné metody, kterou je možno provádět v terénních podmínkách na velkém počtu jedinců. Na druhé straně požadujeme relativní přesnost použité metody. Předně musíme zvolit kritéria, podle kterých budeme tělesnou hmotnost nebo podíl tuku v těle hodnotit. Jako takové kritérium se volí míra zdravotních rizik spojených s hmotností a procentem tuku v těle. Zpravidla porovnáváme naměřené hodnoty u konkrétní osoby se standardy získanými z referenční populace, i když ke stanovení např. morbidní obezity patrně postačí i vizuální diagnóza. Nicméně je třeba pečlivě zvážit vhodnost zvolených referenčních standardů, aby nedošlo k chybné diagnóze (nemůžeme např. aplikovat běžně užívané hodnoty BMI při posouzení sportovců nebo dětské populace, nemůžeme směšovat doporučené hodnoty pro muže a ženy).

Prvním úskalím v cestě za posouzením vhodné hmotnosti a podílu tuku jsou již samotné standardy a jejich vhodnost jako referenční údaj. Pokud ovšem zachováme pravidlo, že srovnáváme daného jedince s referenční populací, které je podobný, měli bychom získávat vesměs správné informace o hmotnostním stavu jedince.

Slovo vesměs již poukazuje na určité interindividuální odlišnosti v rámci jedné a téže populace. Přestože tedy vybíráme jedince, který je referenční populaci relativně podobný (věkem, rasou, pohlavím,..), může dojít k podhodnocení nebo nadhodnocení hmotnosti vlivem dalších faktorů, které se na tělesné hmotnosti podílejí. Musíme počítat s takovými faktory, jako je např. tělesná výška, robustnost kostry a rozvoj svalové hmoty, distribuce tuku. Dostáváme se k druhému úskalí na cestě v posouzení tělesné hmotnosti a to je vliv somatotypu.

V případě hodnocení optimálního množství tuku se navíc dostáváme do situace, kdy již není tak jednoduché získat přesnou hodnotu tuku v těla jako při zjišťování tělesné hmotnosti. Byly vyvinuty četné metody, z nichž některé jsou dvojitě nepřímé a jejich přesnost je tímto více ohrožena.

Zdá se, že možnost pochybení v hodnocení hmotnostního stavu jedince číhá na každém kroku. Přesto se v klinické praxi běžně používají hmotnostní tabulky a tabulky pro BMI a stávají se přinejmenším alespoň jedním z kritérií v posuzování stavu jedince. Pokud tedy nebudeme brát BMI jako absolutní ukazatel, lze ho použít k předběžné orientaci a jako vodítko k dalšímu vyšetřování jedince.

Vzhledem k tomu, že populace sportovců představuje vysoce vyselektovanou skupinu, je třeba vytvořit populačně specifické standardy, které by odpovídaly potřebám jednotlivých sportovních specializací. Přitom je patrně třeba průběžně měření opakovat a ověřovat různé regresní rovnice, které mohou být pod vlivem antropometrických a evolučních změn časem již zastaralé.

Seznam obrázků

1. Obr.: Androidní, resp. gynoidní typ obezity (Hainer, 1997) ..... - 10 -
2. Obr.: Pět úrovní analýzy složení těla (Bray, 1998) ..... - 12 -
3. Obr.: Vztah mezi jednotlivými složkami těla (Stunkard, 1993) ..... - 13 -
4. Obr.: Pletysmograf (Hainer a kol, 2004) ..... - 21 -
5. Obr.: Kalipr typu Best (Hainer a kol.,2004) ..... - 21 -
6. Obr.: Kožní řasa (Eston, 2001) ..... - 22 -
7. Obr.: Somatograf (www.sportvital.net) ..... - 26 -
8. Obr.: Kožní řasy: tricipitalní, resp. suprascalární, resp. suprailiakální (www.exrx.net) ..... - 27 -
9. Obr.: Stadiometr (http://www.sportvital.net) ..... - 27 -

Seznam tabulek a grafů

1. Tab.:Klasifikace kategorií hmotnosti podle WHO (http://www.who.int) ..... - 9 -
2. Tab.: Zdravotní komplikace obezity (Hainer, 1997) ..... - 10 -
3. Tab.: Srovnání příznaků poruch příjmu potravy mezi studentkami taneční konzervatoře a kontrolní skupinou (Stodolová, 2004) ..... - 35 -
4. Tab.: Srovnání způsobů snižování hmotnosti mezi studentkami taneční konzervatoře a kontrolní skupinou (Stodolová, 2004) ..... - 36 -

Použitá literatura

BLÁHA, P. et al.: *Antropometrie české populace od 6 do 55 let, Čs. Spartakiáda 1985, Díl.2, část 2, Praha: ÚNZ VS, 1987, 244 str.*

BLÁHA, P. et al.: *Antropometrie českých předškolních dětí ve věku od 3 do 7 let: Díl1.*, Praha: Ústav sportovní medicíny,1990,72 str.

BOUCHARD, C., BRAY, G.A.: *Regulation of Body Weight: Biological and behavioral mechanisms*, Chichester: John-Wiley and Sons,1996, 327 str.

BRAY, G.A.: *Contemporary Diagnosis and Management of Obesity*, Newton: Handbooks in Health Care, 1998, přeruš. str.

BUNC,V., DLOUHÁ, R., PAŘÍZKOVÁ, J: *Rovnice pro stanovení složení těla bioimpedanční metodou u tělesně aktivních jedinců*, Dr. Aleš Hrdlička a antropologie v roce 1993, Praha: Česká společnost antropologická, 1993, str. 97-99

CARTER, J.E.L. *Genetic and Anthropological Studies of Olympic Athletes ,New York*: Academic Press,1974, 250 s.

ČELIKOVSKÝ a kol.: *Antropomotorika pro studující tělesné výchovy*, Praha: Státní pedagogické nakladatelství,1984, 259 str.

ESTON, R., REILLY, T.: *Kinanthropometry and exercise physiology laboratory manual: Tests, procedures and data*, 2. vyd., London: Routledge,, 2001, 302 str.

HAINER, V. a kol: *Základy klinické obezitologie*, 1.vyd.,Praha: Grada, 2004, 356 str.

HAINER, V., KUNEŠOVÁ, M. et al.: *Obezita: Etiopatogeneze, diagnostika a terapie*, 1. vyd., Praha: Galén, 1997, 126 str.

IGNASIAK, Z., JANUSZEWSKI, A., ROZEK-MRÓZ, K., SLAWIŃSKA,T., ZUREK,G.: *Functional parmeters of the respiratory systém of adolescent*, Pohyb a zdraví.Sborník mezinárodní konference organizované Fakultou tělesné kultury UP v Olomouci, Olomouc:1999, s.239-242

KOŽÍŠEK, J.: *Statistika*, Praha: ČVUT, 2006, 248 str.

KRÁL, J.: *Klinika tělovýchovného lékařství*, 1. vyd., Praha: Státní zdrav.nakl., 1956, 464 str.

KRCH, D., F. a kol.: *Poruchy příjmu potravy*,1.vyd., Praha: Grada, 1999, 240 str.

KUNEŠOVÁ, M.: *Metodika stanovení množství tuku v těle*, Sestra, Příl.Tematický Sešit – Obezitologie,10, č.5, 2000, č.48, s.3-4.

MARTIN, L.: *Pulmonary physiology in clinical practise*, St.Louise: The C.V. Mosby Copany,1987, 396 str.

MASCIE-TAYLOR, C.G.N., LASKER, G.W.: *Applications of biological antropology to human affairs*, 1.vyd., Cambridge: Cambridge University Press, 1991, 252 str.

MILTON, S. J.: Statistical methods in the biological and health science, 2. vyd., Boston: McGraw-Hill, 1992, 562 str.

PAŘÍZKOVÁ, J.: *Body Fat and Physical Fitness*, Hague: Nijhoff, 1977, 279 str.

PAŘÍZKOVÁ, J.: *K diskusi o rovnicích pro výpočet procenta depotního tuku*, Med.sport.bohem.slov.,7, 1998, č.2, str. 54-55

PAVLÍK, J.: *Tělesná stavba jako faktor výkonnosti sportovce*, Brno: Masarykova univerzita,1999, 57 str.

PŘIDALOVÁ, M.: *Funkční profil tenisového hráče školního věku Autoreferát přednášky*, Pohyb a zdraví.Sborník mezinárodní konference organizované Fakultou tělesné kultury UP v Olomouci, Olomouc:1999, s.433-438

RIEGEROVÁ, J., ULBRICHOVÁ, M.: *Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu*, Olomouc: Univerzita Palackého, 1993, 185 str.

SHEPHARD, R.,J.: *Body composition in biological antropology*, 1.vyd., Cambridge: Cambridge University Press, 1991, 345 str.

SCHOLZOVÁ A., LIŠKA, J, RAMCSAY,L: *Spirometric parameters in zouny ice-hockey players durin one-year training cycle*, Homeostasis, 42, 2003, č.5, str. 195-196

SILBERNAGL, S., DESPOPOULOS, A: *Atlast fyziologie člověka*, Praha: Grada, 2004, 435 str.

STODOLOVÁ, A.: *Tanečnice a poruchy příjmu potravy*, Psychologie dnes, 10, 2004, č.3, s.20-21

STUNKARD, A.,J., WADDEN, T., A.: *Obesity: Theory and Therapy,* New York: *Raven Press*, 1993, 377 str.

ŠTĚPNIČKA, J.: *Recept na pěknou postavu*, Praha: Olympia, 1987, 233 str.

ŠTOCHL, J: *Antropomotorika*, Praha: UK FTVS, 2007.

TOBOLKOVÁ, I: *Srovnání různých metod pro stanovení tělesného složení*, Praha: UK FTVS, 2001, 65 str.

VIGNEROVÁ J., BLÁHA P.: *Sledování růstu českých dětí a dospívajících: Norma, vyhublost, obezita.*, 1. vyd., Praha: Státní zdravotní ústav, 2001, 173 str.

VLÁŠKOVÁ, D., ČIHÁK, M.: *Analýza antropometrických šetření Autoreferát přednášky*, Pohyb a zdraví.Sborník mezinárodní konference organizované Fakultou tělesné kultury UP v Olomouci, Olomouc:1999, s.548-552

ZVÁRA, K., ŠTĚPÁN J.: *Pravděpodobnost a matematická statistika*, Praha: Matfyzpress, 2001, 230 str.

Internetové zdroje

http://www.sportvital.net/
http://www.exrx.net
http://www.who.int