

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
FARMACEUTICKÁ FAKULTA V HRADCI KRÁLOVÉ
Katedra biologických a lékařských věd

METODY STANOVUJÍCÍ SLOŽENÍ TĚLA POUŽÍVANÉ V KLINICKÉ PRAXI

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: PharmDr. Miloslav Hronek, Csc.

Hradec Králové, 2010

Zdeňka Jirásková

Abstrakt:

Tato práce pojednává o jednotlivých metodách, které stanovují složení těla a jsou používané v klinické praxi. V současné době tato problematika nabývá na významu, díky vysokému nárůstu nadváhy a obezity v populaci. Obezita je právem nazývána epidemií 3. tisíciletí. Často využívaný BMI index k hodnocení stupně obezity, však neinformuje o poměru tuku a tukuprosté hmoty. V této práci jsou popsány jednotlivé somatotypy, vlastní složení těla, včetně problematiky distribuce tuku v těle. Jsou definovány jednotlivé modely tělesného složení, tak i metody jeho odhadu se zaměřením na antropometrii a kaliperaci, kdy na základě tloušťky jednotlivých kožních řas se vypočítá procentuální obsah tuku dle příslušných predikčních rovnic. Dále jsou popsány jednotlivé biofyzikální a biochemické metody k odhadu tělesného složení, například metoda bioelektrické impedance, duální rentgenové absorpciometrie, ultrazvuk, atd. Velmi populární je také metoda biospektroskopického stanovení tělesných kompartmentů, při které se využívá analyzátor složení těla, tato zcela neinvazivní metoda nabízí široké možnosti využití v klinické praxi.

Abstract:

In this thesis is a summary of methods which specify body composition and are used in a clinical practice. In this time, these problems increase in importance because of high growth of overweight and obesity in population. Body mass index which is very often used in assessment of obesity does not inform about ratio between fat mass and fat free mass. There are also described particular somatotypes, a proper body composition, including an issue of distribution. There are also defined both particular models of body composition and methods of estimation targeted on anthropometry and caliperation, when the percentage of fat is calculated on the base of thickness of particular skinfolds, according to relevant predictive equations. Then there are described biophysical and biochemical methods used for the estimation of body composition, eg. Bioelectrical impedance analysis, Dual Energy X-Ray Absorptiometry, ultrasonography, etc. The method of biospectroscopic determination of corporal compartments is also very popular. It uses the body composition monitor and this completely non-invasive method provides many possibilities of usage in a clinical practice.

Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně a uvedla v ní veškerou literaturu a jiné prameny, které jsem použila.“

Poděkování:

Děkuji panu PharmDr. Miloslavu Hronkovi, CSc. za ochotu, podnětné připomínky a odborné vedení při mé diplomové práci.

Obsah:

Seznam zkratk.....	1
Cíl práce.....	2
<u>1. Úvod</u>	<u>3</u>
1.1 Prevence obezity	4
1.2 Léčba obezity	5
Symptomimeticky působící anorektika:.....	6
<u>2. Somatotypy (variabilita tělesné stavby člověka a typologie)</u>	<u>6</u>
<u>3. Složení těla</u>	<u>8</u>
3.1 Tuk	9
3.2 Distribuce tuku.....	12
3.3 Tukuprostá hmota (FFM, aktivní tělesná hmota)	15
3.4 Celková tělesná voda	16
3.5 Celkový tělesný draslík.....	18
3.6 Denzita těla.....	19
<u>4. Modely tělesného složení</u>	<u>20</u>
4.1 Anatomický model	20
4.2 Molekulární model	21
4.3 Buněčný model	21
4.4 Tkáňově - systémový model.....	22
4.5 Celotělový model.....	22
<u>5. Metody odhadu tělesného složení</u>	<u>23</u>
5.1 Antropometrie.....	24
5.2 Měření tloušťky kožních řas	30
5.2.1 Odhad podílu tuku dle Pařízkové	34
5.2.2 Odhad podílu tuku dle Deurenberga a Westrate(1989).....	36
5.2.3 Odhad podílu tuku dle Slaughtera (1988).....	36
5.2.4 Odhad podílu tuku podle Durnina a Womersleyho (1974).....	38
5.2.5 Odhad procenta tuku dle García.....	39
5.2.6 Odhad podílu tuku dle Petersona.....	39
5.2.7 Odhad % tuku dle Vignerové a Bláhy	40
<u>6. Biochemické a biofyzikální metody k odhadu tělesného složení.....</u>	<u>40</u>
6.1 Bioelektrická impedance (BIA).....	41

6.2 Denzitometrie.....	51
6.3 Hydrostatické vážení.....	52
6.4 Pletysmografie	53
6.5 Radiografické metody	53
6.6 Hydrometrie	53
6.7 Ultrazvuk	54
6.8 Neutronová aktivační analýza	54
6.9 Celkový tělesný draslík.....	55
6.10 Celkový tělesný dusík.....	55
6.11 Celkový tělesný vápník	55
6.12 Celotělová uhlíková metoda.....	56
6.13 DEXA	56
6.14 BCM (Body composition monitor, analyzátor složení těla).....	57
<u>7. Závěr.....</u>	59
<u>8. Literatura.....</u>	61

Seznam zkratek

ATH	...	aktivní tělesná hmota
BCM	...	body composition monitor, analyzátor složení těla
BIA	...	bioelektrická impedance
BM	...	buněčná masa
BMI	...	body mass index, index tělesné hmotnosti
DEXA	...	Dual Energy X-Ray Absorptiometry
ECM	...	extracelulární hmota
ECPL	...	intracelulární pevné látky
ECT	...	extracelulární tekutina
ECW	...	mimobuněčná hmota
FDA	...	Food and Drug administration, Úřad pro kontrolu potravin a léčiv
FFM	...	fat free mass, tukuprostá hmota
SAD	...	sagital abdominal diameter, sagitální abdominální rozměr
TBW	...	total body water, celková tělesná voda
WHR	...	waist to hip ratio, poměr pas-boky

Cíl práce

Cílem této diplomové práce bylo podat přehled o metodách stanovujících složení těla používaných v klinické praxi. Jsou popsány jednotlivé biofyzikální a biochemické metody k odhadu tělesného složení, často užívanou metodou je též analyzátor složení těla.

1. Úvod

Obezita je multifaktoriální porucha energetické bilance, při níž příjem energie převyšuje její výdej. Je provázána zmnožením tukových buněk a nadměrným ukládáním tukových zásob v podobě triacylglycerolů. Za obezitu se obvykle pokládá tělesná hmotnost převyšující ideální hmotnost o 20 %. V představě o ideální hmotnosti však nepanuje shoda. Proto se v současnosti jako kritérium používá tzv. body mass index (BMI), který dobře koreluje s obsahem tuku v těle. Vypočítá se jako poměr tělesné hmotnosti v kilogramech ke druhé mocnině tělesné výšky v metrech. Zdraví jedinci mají BMI 20-25, BMI 25-30 znamená nadváhu a BMI nad 30 obezitu (*Lincová a spol.*).

BMI neodráží složení vlastního těla, detekuje obezitu pouze podle vzhledu. Jako běžný standard diagnózy obezity, byla metoda široce uplatňována v obecné medicíně, v dietních a sportovních lékařských oborech. Nevýhodou této metody je, že nemůže být použita u dospělých s vysokou a nízkou úrovní svalové hmoty bez tuku, dále u dětí a osob starších 65 let, nebo u těhotných žen (<http://www.biospace.cz/technologie.php>).

„S nárůstem otylosti se nesetkáváme pouze u dospělých jedinců, ale i u dětské populace. V ČR je asi 10 % obézních dětí (*Gregora, 2004*).“

Váha se stanoví ve spodním prádle, bez obuvi, za standardních podmínek, tedy ráno, nalačno, váha je rozložena na obě nohy, vyšetřovaná osoba stojí v klidu. Výška se měří pomocí výškoměru, měříme vždy bez bot, naboso nebo v tenkých ponožkách, nejlépe ráno, měřená osoba stojí na ploše kolmé k svislé ose výškoměru. BMI nerozlišuje podíl aktivní tělesné hmoty a tělesného tuku, proto se můžeme setkat i s jedincem, který podle tohoto indexu patří do skupiny obézních, ale jeho vyšší hmotnost je způsobena svalovou hmotou a ne podkožním tukem. Výjimkou nejsou ani jedinci, jejichž BMI je v normě, ale podíl tukové složky je vysoký a podíl svalové hmoty je nízký. Takový stav se nazývá skrytá obezita. Se vzrůstajícím věkem stoupá dle normy i normální hodnota BMI. U sportovců je BMI využitelný jen v omezené míře. Optimální hodnota BMI je v rozsahu 21,9 – 22,4 kg/m pro muže a 21,3 – 22,1 kg/m pro ženy. Hodnoty vyšší jak 27,8 kg/m pro muže a 27,3 kg/m pro ženy jsou spojeny

s vysokým krevním tlakem, diabetem a se zvýšeným rizikem kardiovaskulárních onemocnění.

Rozdělení obezity dle BMI však odborníkovi zpravidla nestačí, proto byly vyvinuty další metody hodnocení obezity, měření tuku a metody stanovující složení těla, které jsou používané v klinické praxi, o kterých bude tato diplomová práce pojednávat dále. Aktuální tělesná hmotnost reflektuje poměr mezi příjmem a výdejem energie. Nadváha se může vyskytnout pouze, pokud po určitou dobu (týdny, měsíce) příjem kalorií převažuje nad jejich výdejem (*Lüllman a spol., 2004*).

Výživa člověka není ovlivňována jen osobními potřebami – hladem, pocitem sytosti, náladou, ale stojí pod obrovskými sociálními a kulturními vlivy. Přes projevy globalizace jsou národní kuchyně, podobně jako jazyky, přetrvávajícími charakteristikami populací. Mimo jiné se podílí regionálně v rozdílném výskytu mnoha chorob. Je realitou, že zdraví populace více ovlivňuje životní styl a faktory nezdravotnické než sama úroveň zdravotnictví (*Svačina a spol.*).

Dnes je všeobecně uznáváno, že obezita má i významnou genetickou komponentu. Dědičné faktory se uplatňují u 30 - 40% obézních osob, přičemž nejvýraznější dědičnost vykazuje abdominální adipozita. Za obezitu není odpovědný jediný gen, dosud bylo popsáno 23 genů spojených s obezitou. Z genů regulujících energetickou bilanci jsou nejlépe prostudovány geny leptinu a jeho receptorů. Původně u myši a později v lidském genomu byl nalezen a klonován zvláštní gen obezity, tzv. gen Ob. Nositelé mutací tohoto genu mají nadměrný příjem potravy, značný sklon ke zmožení tuku a dalším metabolickým abnormalitám (*Lincová a spol.*).

Následkem obezity se častěji objevují kardiovaskulární onemocnění, diabetes mellitus 2. typu, ortopedické poruchy a psychosociální problémy. K tomu přistupuje farmakoterapeutická obtíž, že totiž kinetika četných léčiv je na základě nenormálních distribučních pochodů nepředvídatelná (*Hainer a spol., 2004*).

1. Prevence obezity

V rozvinutých zemích představuje cena léčby obezity 2 - 6 % celkových nákladů na zdravotní péči. Nejsou finanční zdroje nejen u nás, ale ani v nejvyspělejších

ekonomikách na léčbu všech obézních osob, které by k ní byly dle doporučení WHO indikovány. Z tohoto důvodu je nutno věnovat dostatečnou péči prevenci obezity, k jejíž rozšíření je důležitá dostatečná informovanost. Stejně tak důležité je informovat veřejnost o rizicích obezity (*Hainer a spol., 2004*).

1.2 Léčba obezity

Přes značný pokrok etiopatogeneze obezity zatím nejsou k dispozici skutečně účinná léčiva, která by účinně a dlouhodobě vyvolávala pokles tělesné hmotnosti bez závažnějších nežádoucích účinků. Základními opatřeními zůstávají behaviorální intervence do životních návyků (stravovacích, pohybových), nízkenergetická dieta se sníženým příjmem tuků a programy aerobní pohybové aktivity. Farmakologický přístup je vyhrazen pro osoby s BMI nad 30 nebo u nižšího stupně obezity (BMI 25 -30) s vážnými komplikacemi, vždy v kombinaci s dietními a pohybovými režimy. U těžkého stupně obezity (BMI nad 40) se provádí při souhlasu pacienta chirurgická léčba, nejčastěji bandáž žaludku (*Lincová a spol.*).

Léčiva mohou napomoci poklesu hmotnosti nebo předejít jejímu nárůstu v zásadě třemi možnými způsoby: snížením příjmu energie, zvýšením výdeje energie, omezení využití vybraných živin. Ke snížení příjmu energie se používají anorektika. Ty můžeme rozdělit dle mechanismu jejich účinku na inhibitory zpětného vychytávání serotoninu, sympatomimeticky působící anorektika a látky ovlivňující lipidový metabolismus.

Látky inhibující zpětné vychytávání serotoninu. Do této skupiny patří především sibutramin, který je považován za moderní anorektikum a ve světě je nejvíce indikován. Sibutramin je neselektivním inhibitem zpětného vychytávání monoaminů do nervových zakončení. Snižuje vychytávání noradrenalinu, serotoninu a dopaminu a působením na beta adrenergní receptory stimuluje termogenezi.

Další látkou, která působí zpětné vychytávání serotoninu je dexfenfluramin, který byl pro závažné nežádoucí účinky, zejména pro defekty srdeční chlopně a primární plicní hypertenzi vyřazen v roce 1997 z trhu.

Sympatomimeticky působící anorektika:

Sympatomimeticky působící anorektikum je fentermin, který má podobnou strukturu jako noradrenalin. Výrazně potlačuje chuť k jídlu a vyvolává úbytek hmotnosti. Terapie nemá nikdy překročit 3 měsíce. Pro vážné nežádoucí účinky, jako je například fibrosa plic, plicní hypertenze a aortální insuficience, je v některých zemích stažen z trhu. V České republice je stále registrován. Látky ovlivňující lipidový metabolismus Orlistat je látka působící lokálně ve střevě. Po perorálním podání tento enzymový induktor snižuje resorpci tuků z tenkého střeva. Jeho účinkem klesají plazmatické koncentrace celkového cholesterolu a LDL cholesterolu. Příznivě ovlivňuje lipidové spektrum i metabolismus glukosy, upravuje zvýšený krevní tlak. Nežádoucí účinky orlistatu se objevují u 30% pacientů, zejména insuficience pankreatu: mastné stolice, tenesmy, flatulence. V léčbě obezity byla zkoušena i tzv. termogenní farmaka, jedná se o kombinaci efedrinu s kofeinem s dávkou 20 mg efedrinu a až 50 mg kofeinu v jednom prášku. Jedná se o tzv. elsinorské prášky, ty tlumí chuť k jídlu noradrenergním mechanismem a současně zvyšují energetický výdej, odtud název termogenní farmaka. Moderní farmaka v léčbě obezity by měla mít známý mechanismus působení a příznivě ovlivňovat rizikové faktory, které obezitu provázejí. Při dlouhodobém užívání by měla mít mírné nebo jen přechodné nežádoucí účinky. Hlavně by měla hmotnostní pokles vyvolávat redukci tukové tkáně. Dá se očekávat, že v budoucnu farmakoterapie obezity bude zaujímat stále významnější úlohu v její léčbě s trvalými pro organismus žádoucími výsledky.

2. Somatotypy (variabilita tělesné stavby člověka a typologie)

Termínem somatotyp označujeme kvantitativní popis stavby a kompozice lidského těla. Poprvé byl tento termín použit zakladatelem somatotypologie Williamem H. Sheldonem, který už v roce 1940 rozdělil tvar lidského těla do tří základních somatotypů: endomorfní (obézní, také se lze setkat s označením pyknik dle Kretschmerovy nomenklatury), mezomorfní (svalnatý, neboli atlet) a ektomorfní (hubený, neboli astenik). Tyto jednotlivé somatotypy se u každého jedince do určité míry kombinují a jejich rozložení lze určit z tzv. Somatografu.

(<http://www.sportvital.cz/zdravi/diagnostika/co-je-to-somatotyp-a-jak-ho-merime>)

Sheldon založil svoji metodu na poznatku, že v lidské populaci neexistují jen vyhraněné konstituční typy, ale celá škála typů tělesné stavby. Studoval velké množství antropometrických dat u rozsáhlého materiálu a na základě těchto zkušeností dospěl ke zcela novému způsobu stanovení somatotypu.

Sheldonova typologie je zatím nejdůkladněji propracovaná, rozlišuje kromě tří vyhraněných somatotypů celou škálu různých smíšených typů.

Somatotypologii dále rozpracovali Carter a Heathová a toto rozpracování umožnilo zařadit každého jedince na detailní stupnici somatografu. Autoři Heathová a Carter vytvořili novou metodu (1967), která je dnes celosvětově rozšířena. Jednotlivé komponenty somatotypu definují následovně: první komponenta – endomorfie hodnotí množství podkožního tuku a leží na kontinuu od nejnižších hodnot k nejvyšším, endomorfie se tedy vztahuje k relativní tloušťce či relativní hubenosti jednotlivých osob (*Ulbrichová a spol., 2006*).

Endomorf má předpoklady pro vzpírání, zápas a vodní sporty. Má tendenci k nadváze, je celkově rozložitý, oblý tvar těla, malý tělesný povrch a nízký energetický výdej. Endomorfové mají často dobrý potenciál k nabírání svalstva, ale obtížně se zbavují tuku. Mají riziko obezity, cukrovky a kardiovaskulárních chorob. Důležitý je tudíž důkaz na aerobní aktivity (<http://www.sportvital.cz/zdravi/diagnostika/co-je-to-somatotyp-a-jak-ho-merime/>)

Mezomorfie může být považována za hubenou tělesnou hmotu ve vztahu k tělesné výšce, která se skládá z muskuloskeletárního systému, tělesných tekutin (nebo také celého těla bez podkožního tuku) a měkkých orgánů (*Ulbrichová a spol., 2006*).

Mezomorf je svalnatý typ se svalnatou kostrou, širokými rameny a úzkými boky. Středně rychlý energetický výdej, na silový trénink reaguje rychlým přírůstkem svalové hmoty.

Stanovení třetí komponenty somatotypu je založeno zejména na indexu podílu výšky ke třetí odmocnině z hmotnosti. Ektomorfie se vztahuje k relativní délce částí těla. Ektomorf má předpoklady pro vytrvalostní sporty, basketbal, skok vysoký. Je to štíhlý až hubený typ se slabě vyvinutým svalstvem slabou kostrou, má velký povrch těla, rychlý energetický výdej, málo tukových buněk. Špatně nabírá svalovou hmotu, vyžaduje méně náročný trénink, delší pauzy mezi sériemi, vysoký příjem bílkovin a dostatek odpočinku.

Somatotyp stanovujeme na základě specifických antropometrických měření. Jedná se o následujících sedm parametrů:

- tělesná výška (měřeno stadiometrem)
- tělesná hmotnost
- obvod bicepsu
- obvod lýtky
- biepikondylární rozměr humeru (kost pažní)
- biepikondylární rozměr femuru (kost steh)
- tloušťka kožních řas (kožní řasa nad tricepsem, pod lopatkou, nad trnem kyčelním a na lýtku). Naměřená data zpracujeme počítačovým programem a výstupem této počítačové analýzy je přiřazení dat vyšetřovaného jedince do somatografu s určením, která složka somatotypu převažuje (<http://www.sportvital.cz/zdravi/diagnostika/co-je-to-somatotyp-a-jak-ho-merime>)

3. Složení těla

Složení lidského těla jako významný faktor nemocnosti a úmrtnosti zasluhuje mnohem větší pozornost, než mu byla doposud věnována. Analýza složení těla poskytuje základní informace pro stanovení terapeutického postupu řady onemocnění a zároveň relativně jednoduchou metodu kontrolující výsledky výživové intervence, tělesného cvičení a farmakologické terapie. Tělesné složení se interindividuálně liší (Stevens, Truesdale, 2004).

Srovnáváme-li dva jedince stejné výšky a hmotnosti, můžeme často již pouhým pohledem zjistit, že navzdory shodě v těchto vlastnostech se jejich tělesné složení

výrazně odlišuje. Kvantitativní kritéria jako tělesná výška, hmotnost nebo různé indexy podstatu tohoto rozdílu nedokáží postihnout, podávají totiž pouze orientační informace o tělesné konstituci. Pro podrobnější analýzu hmotnosti musíme provést frakcionaci na jednotlivé komponenty (*Pařízková, 1961*).

Přímé měření tělesného složení je u žijících osob neproveditelné. Proto bylo vypracováno několik metod nepřímého odhadu, které většinou vychází z dvousložkového chemického modelu. Tento model rozděluje tělo na tuk a tukuprostou hmotu (FFM). Tělesné složení se mění v závislosti na růstu a zrání jedince, významnou roli hraje rovněž pohybová aktivita (*Riegrová a spol., 2006*).

Frakcionalizaci tělesného složení neboli komponenty lidského těla můžeme chápat ze dvou pohledů:

1. tělesné složení (body composition), kdy zkoumáme podíl jednotlivých tkání na hmotnosti těla.
2. distribuce hmoty těla, kdy jde o hmotnost jednotlivých segmentů (článků kinematického řetězce).

3.1 Tuk

Tělesný tuk může být brán jako chemická látka, tedy jako všechny lipidy lidského těla, od kterých je nutno odlišit tuk uložený v tukových buňkách tukové tkáně. Tuková tkáň je složena z adipocytů (tukových buněk), extracelulární tekutiny (tkáňového moku), cév, nervových zakončení a pojivové tkáně. Tuk je tvořen pouze lipidy, zejména triglyceridy v tukové tkáni. Proto je důležité tyto dva pojmy odlišovat.

Tuk je nejvariabilnější komponentou hmotnosti těla, je hlavní faktor inter- a intraindividuální variability tělesného složení v průběhu celého vývoje. Je snadno ovlivnitelný výživovými aspekty a pohybovou aktivitou, také je významným faktorem vzniku a průběhu řady onemocnění (*Přidalová a spol., 2006*).

Fyziologické zastoupení tuku (v %) u lidského organismu se liší v závislosti na věku a pohlaví. Pro pravidelné sledování změn tělesného tuku je doporučováno při měření dodržovat stejné podmínky, včetně nejvhodnější doby měření (nejméně 2 hodiny po obědě a před večeří). Celkový tělesný tuk lze rozdělit na tuk základní (fixní), který má hlavně mechanickou funkci (obal ledvin, intraabdominální tuk, tukové těleso v podpažní jamce, kostní dřeni, mozku, periferních nervech, svalech, tuk vázaný na sekundární charakteristiky žen apod.). Tento tuk se částečně redukuje až při významném zhubnutí, kdy byl již vyčerpán zásobní tuk, ale jeho podstatná část zůstává zachována i při totálním vyhladovění a následné smrti hladem. Množství základního tuku se pohybuje okolo 3 % u mužů a 11 % u žen. Dále rozlišujeme tuk zásobní, který se ukládá především v podkoží a v dutině břišní. ([Ulbrichová a spol., 2006](#)).

Pro organismus jedince je rizikové jak vysoké, tak příliš nízké množství podkožního tuku, které s sebou nese zdravotní riziko v podobě různých dysfunkcí – určité množství tuku je nutné pro zachování základních fyziologických funkcí. Esenciální lipidy, jako např. fosfolipidy jsou využívány ke stavbě buněčných membrán, tuky jsou zapojeny do transportu a využití vitamínů rozpustných v tucích, lipoproteiny slouží k transportu lipidů a cholesterolu, jsou prekurzory steroidních hormonů, jsou součástí biologicky aktivních látek patřících do skupiny eikosanoidů (prostaglandiny, leukotrieny, prostacykliny, tromboxany) a podobně. Vysoké zastoupení podkožního tuku je spojeno obecně s obezitou, která vede ke zdravotním komplikacím a iniciuje vznik sociálně hendikepovaného jedince. Vztah nadváhy a obezity determinuje odlišný lipidový profil, vysoký krevní tlak, inzulinovou rezistenci. Obezita je spjata s kardiorespiračními, ortopedickými a psychosociálními poruchami ([Dietz, 1998](#), [Troiano et al., 1995](#)).

Podíl podkožního tuku na celkovém tělesném tuku je závislý na mnoha činitelích (věk, pohlaví, výživa, tělesná aktivita, apod.). Podkožní tuk má také funkci jako tepelná izolace proti chladu.

Množství podkožního tuku se v průběhu ontogeneze mění, v období raného dětství zastoupení množství podkožního tuku pozvolna klesá u obou pohlaví. Ve fázi středního dětství je u ženského pohlaví průměrná hodnota množství podkožního tuku většinou vyšší než u mužského. Tento rozdíl je mnohem zřetelnější v období puberty a

přetrvává do adolescence. U chlapců zaznamenáváme mírné zvýšení podkožního tuku na konci prepubertálního období. U chlapců v pubertě narůstá mnohem výrazněji a intenzivněji než u dívek svalová hmota (*Malina, Bouchar, 1991*).

Typ pohybové aktivity má vliv na koncentraci kostních minerálů a na množství podkožního tuku (*Gibson, 2003*).

Množství celkového tělesného tuku: Normální hodnoty celkového tělesného tuku u běžné populace jsou 15 – 18% pro muže a 20 – 25% pro ženy a procento celkového tělesného tuku stoupá s věkem. Hodnoty vyšší než 25% pro muže a 30% pro ženy jsou považovány za riziko rozvoje chronických onemocnění a jsou považovány za obezitu. Akumulace tuku v oblasti břicha je považována za rizikový faktor pro vznik diabetu, hypertenze a hyperlipidémie. Nejpoužívanější jsou dvě metody k odhadu složení viscerální tukové tkáně--počítačová tomografie a magnetická rezonance. Rovněž je možno spočítat vnitřní tukovou hmotu z rozdílu mezi celkovým a podkožním tukem. U tohoto způsobu je celková tělesná hmota zjištěna hydrostatickým vážením, podkožní tuk je spočítán z povrchu plochy těla a tloušťky podkožního tuku. Množství tuku na trupu je používáno k odhadu distribuce tělesného tuku a nejčastěji je měřeno metodou duální rentgenové absorpciometrie a bioelektrické impedance, která dokáže odhadnout množství tuku, tukuprosté hmoty a procenta tuku na každé končetině a na trupu - včetně hlavy a krku. Množství tuku (FM) na každé končetině je počítáno z hmotnosti tukuprosté hmoty (FFM) a z procenta tuku dle následující rovnice:

$$\mathbf{FM\ (kg) = FFM\ (kg) / (1 - \%tuku / 100) - FFM\ (kg)}$$

Množství tuku (FM) na trupu je počítáno následovně: (*Demura, Sato, 2007*)

$$\mathbf{FM_{trupu} = FM_{celého\ těla} - (FM_{pravé\ ruky} + FM_{levé\ ruky} + FM_{pravé\ nohy} + FM_{levé\ nohy})}$$

Tab. 1. Standardy % FM (fat mass) pro muže a ženy (dle Heyward Wagner, 2004)

Standardy % tuku (Heyward, Wagner, 2004)	Věk (v letech)			
	6–17	18–34	35–55	55+
Muži				
zdravotní minimum tuku	< 5	< 8	< 10	< 10
nízká hodnota (podprůměr)	5–10	8	10	10
střední hodnota (průměr)	11–25	13	18	16
vysoká hodnota (nadprůměr)	26–31	22	25	23
obezita	> 31	> 22	> 25	> 23
Ženy	6–17	18–34	35–55	55+
zdravotní minimum tuku	< 12	< 20	< 25	< 25
nízká hodnota (podprůměr)	12–25	20	25	25
střední hodnota (průměr)	16–30	28	32	30
vysoká hodnota (nadprůměr)	31–36	35	38	35
obezita	> 36	> 35	> 38	> 35

3.2 Distribuce tuku

Z hlediska rizika vzniku komplikací u jednotlivých pacientů je důležité stanovení distribuce tuku. Rozložení tuku v těle představuje nezávislý rizikový faktor vzniku metabolických a kardiovaskulárních komplikací obezity (Hainer a spol., 2004).

Stanovené množství podkožního tuku v podobě jeho procentuálního zastoupení nás neinformuje o jeho distribuci, proto byly vyvinuty další metody k určení rozložení tuku.

Distribuci tuku lze změřit také pomocí jednotlivých antropometrických ukazatelů, jako je obvod pasu a sagitální abdominální rozměr (SAD – Sagital Abdominal Diameter), ve výši L₄ – L₅ (Hainer, Kunešová a spol., 1997).

Typ distribuce patří k významným etnickým a rasovým charakteristikám a je výrazným diferenačním kritériem u osob lišících se úrovní a typem pohybové aktivity (Riegrová a spol., 2006).

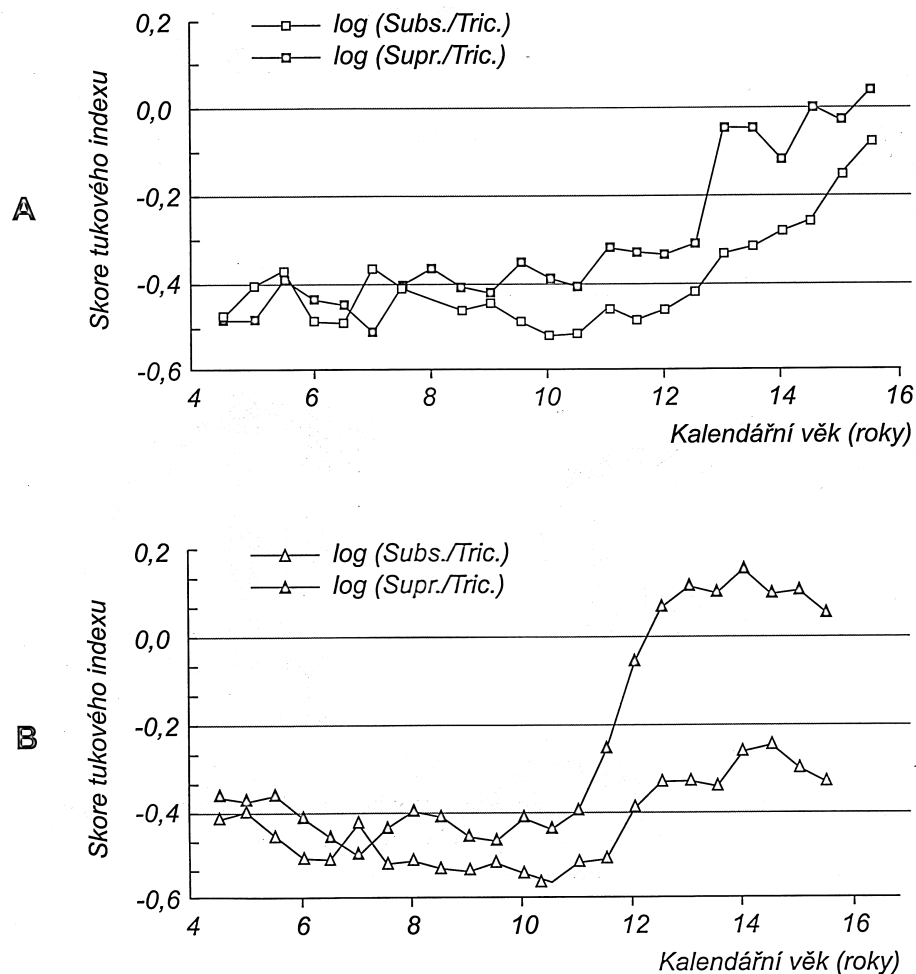
Světová zdravotnická organizace WHO doporučuje používat hodnoty indexu tělesné hmotnosti (BMI) a poměr pas/ boky (WHR, index waist/ hip), který na základě

obvodových parametrů signalizuje abdominální obezitu. Hranice poměru rizikovosti pro ženy je v relativní formě 0,85, resp. 85%, pro muže 0,95, resp. 95% (*Riegrová a spol., 2006*).

Rozložení tuku jsme dále schopni posoudit antropometrickými technikami, na příklad na základě indexů centrality, které nás informují o vyšším uložení tuku na trupu nebo naopak na končetinách (rozložení centrifugální či centripetální). Další možností pro determinaci distribuce podkožního tuku vymezuje na příklad metoda segmentální bioelektrické impedance (přístroj firmy TANITA), metoda duální rentgenové absorpciometrie (DEXA), magnetická rezonance a computerizovaná tomografie (*Riegrová a spol., 2006*).

Jednotlivé metody se liší v ceně, reprodukovatelnosti, v bezpečnosti pro měřené osoby a v přesnosti měření celkového tělesného a abdominálního tuku (*Kamil et al., 1999*).

Sexuální diference v distribuci tuku se projevuje již v období středního dětství, zesiluje v adolescenci a přetrvává v dospělosti. S věkem se ukládá více tuku na trupu než na končetinách, predilekčními místy u mužů jsou hrudník, záda a břicho, u žen v oblasti pasu a paže (*Riegrová a spol., 2006*).



Obr. 1. Distribuce tuku podle Baumgartnera (1988); A-chlapci, B-dívky; Subs.- sub – skapulární řasa, Supr – suprailiackální řasa, Tric. – tricipiální řasa.

Předpokládaná stálost vztahu mezi rozvojem podkožního a celkového tuku není dosud zcela objasněna.

Jiří Škerlj (1953) upozornil na to, že u žen se s věkem zvyšuje celkové množství tuku, přičemž změny v podkožním tuku nemusí tomuto trendu jednoznačně odpovídat. K posouzení distribuce podkožního tuku je možné využít somatické indexy ve formě indexů centrality, které nás informují o rozložení tukové frakce – harmonické, s převahou tuku na trupu (centrifugální) nebo s převahou na končetinách (centripetální). Jedná se o poměry naměřených hodnot kožních řas v jednotlivých oblastech lidského těla.

X₁ = subscapulare / triceps

X₂ = hrudník1 + hrudník2 + suprail + břicho + subscap./ tvář + brada + triceps + patella + lýtko

X₃ = suprail. + břicho + subscap./ triceps + patella + lýtko

X₄ = patela/stehno

3.3 Tukuprostá hmota (FFM, aktivní tělesná hmota)

FFM zahrnuje jednak hmotnost svalů a kostí, ale i vnitřních orgánů a dalších tkání a vedle beztukové hmoty obsahuje i tuk označovaný jako základní neboli fixní. Množství tukuprosté hmoty na trupu je počítáno z tukuprosté hmoty celého těla a z tukuprosté hmoty na končetinách dle následujícího vztahu: (Demura et al., 2007).

$$\mathbf{FFM}_{\text{trupu}} = \mathbf{FFM}_{\text{celého těla}} - (\mathbf{FFM}_{\text{pravé ruky}} + \mathbf{FFM}_{\text{levé ruky}} + \mathbf{FFM}_{\text{pravé nohy}} + \mathbf{FFM}_{\text{levé nohy}})$$

Aktivní tělesná hmota zahrnuje tkáň metabolicky aktivní (z hlediska anatomického, to je tělesnou hmotu bez depotního tuku, extracelulární tekutiny a kostních minerálů). Její podíl úzce souvisí se spotřebou kyslíku, s respiračním objemem, s minutovým objemem srdečním, apod. FFM je vhodným ukazatelem pro posouzení funkčních vlastností organismu. Velikost aktivní tělesné hmoty lze odvodit rovněž z obsahu tělesné vody, avšak u dětí nepředstavuje voda stejný podíl aktivní tělesné hmoty jako u dospělých (Pařízková, 1962).

Tukuprostá hmota je složka těla pro zdraví velmi potřebná. Tvoří ji ze 72% voda, 21% proteiny a 7% kostní minerály. Vyšší hladiny FFM přispívají k žádoucí kostní denzitě, která je spojována s vyšší kostní integritou. Znamená to snížení rizika zlomenin a také rizika pozdější osteoporózy (Rossner, 2002).

Eriksson et al. (2002) sledoval souvislost mezi velikostí novorozence po porodu, růstem během dětství a FFM a bazálním metabolismem u dospělých. FFM pozitivně korelovala s hmotností při porodu u obou pohlaví. FFM je zřejmě podmíněna kritickým obdobím svalového růstu během nitroděložního vývoje a dětství. Svalová hmota osob s nízkou porodní váhou je metabolicky aktivnější než u osob s vyšší porodní hmotností,

což může být jedním z ochranných faktorů před zvýšeným rizikem obezity (*Eriksson et al., 2002*).

FFM je heterogenní komponentou. Vzájemný poměr jejich složek (kostra, svalstvo, ostatní tkáně) je variabilní v závislosti na věku, pohybové aktivitě a dalších exo- i endogenních faktorech. Aktivní tělesnou hmotu tvoří z 60% svalstvo, z 25% opěrné a pojivové tkáně a 15% tvoří hmotnost vnitřních orgánů. V lidském těle nacházíme tři typy svalové tkáně: kosterní svaly (příčně pruhované, 30% u ženy, 40% u muže), srdeční sval a hladké svalstvo (10%). Tyto poměry se však v průběhu ontogeneze mění. Obecně se udává, že kosterní svalstvo tvoří u novorozenců asi 25% hmotnosti těla, u dospělých jedinců okolo 40%.

Chemické složení tukuprosté hmoty (FFM) je považováno za relativně konstantní s obsahem vody 72 - 74% a obsahem draslíku 60 – 70 mmol/kg u mužů a 50 – 60 mmol/kg u žen. Densita FFM je 1,1 g/cm při 37 stupních. Naproti tomu tuk neobsahuje vodu a draslík, jeho densita je 0,9 g/cm při 37 stupních Celsia. (*Riegrová a spol., 2006*).

Při tréninku dochází ke zvýšení FFM (především svalové hmoty) a snížení tukové komponenty, přičemž ovšem nemusí docházet ke změně tělesné hmotnosti. To platí nejen u dospělých, ale i u rostoucích jedinců (*Přidalová a spol., 2006*).

3.4 Celková tělesná voda

Voda v těle představuje nejdůležitější složku celkové tělesné hmotnosti, představuje více než polovinu hmotnosti těla a téměř dvě třetiny aktivní tělesné hmoty (převážně svalstvo). Voda plní v těle řadu důležitých funkcí, všechny tělesné buňky, jedná-li se o buňky kůže, žláz, svalů, mozku nebo jiných orgánů, mohou pracovat správně, pouze pokud mají dostatečné množství vody. Voda hraje taky důležitou roli při regulaci tělesné teploty, zvláště pocením.

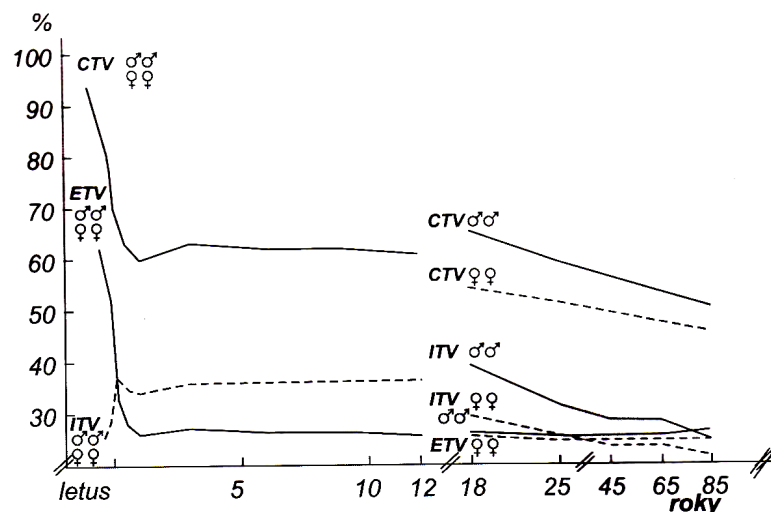
Množství vody je závislé na věku, pohlaví a tělesné hmotnosti. Průměrné množství tělesné vody u kojence se pohybuje od 80 – 85%, u dítěte okolo 75% a u

dospělého muže 63%, u dospělé ženy 53%. Nejvíce vody je v krvi a v ostatních tělních tekutinách (91 – 99%), ve svalové tkáni (75 – 80%) a v kůži. Podstatně menší množství se nachází v tukové tkáni (10 %) a kostech (22%). (Rokyta et al., 2000, Trojan, 1996).

Stav hydratace, nebo-li optimální množství vody je nezbytným předpokladem hemodynamiky, tj. dokonalého krevního oběhu, transportu potřebného množství kyslíku ke tkáním, iontové rovnováhy a látkové výměny. (Jirka, 1990).

Z vývojového hlediska je důležitý také vývoj celkové tělesné vody v jejích frakcích. Poměr extra- a intracelulární tekutiny se během života mění (Trefný, 1993).

Nitrobuněčná voda (ICW) tvoří u dospělého muže asi 40% tělesné hmotnosti (30 l u 75kg muže), nebo-li 66% veškeré tělesné vody. Větší zastoupení nitrobuněčné vody je v měkkých tkáních, ale i kosti, chrupavky a pojivo obsahují její výrazný podíl. Mimobuněčná voda se podílí na celkové tělesné hmotnosti 15 l, tj. 20%. Ženy mají distribuci vody nižší: intracelulární tekutina vytváří 32 %, extracelulární tekutina 21%. Ženy vzhledem k vyššímu podílu tukové frakce disponují nižším podílem vody (Rokyta et al., 2000).



Obr. 2. Vývoj celkové (CTV), extracelulární (ETV) a intracelulární (ITV) vody (podle Maliny (1969))

Podíl celkové tělesné vody se snižuje v průběhu prenatálního vývoje a v prvním roce života, zatímco během raného a středního dětství (cca do 12. roku) zůstává relativně konstantní. Do tohoto období také nebyly pozorovány výrazné sexuální rozdíly. K sexuální diferenciaci dochází až v postpubertálním období – u chlapců se míra hydratace zvyšuje, u dívek snižuje. Míra hydratace se rovněž snižuje s věkem (*Přidalová a spol., 2006*).

Hodnoty celkové tělesné vody jsou velmi individuální, výsledky měření obsahu tělesné vody jsou ovlivněny poměrem tělesného tuku a svalů. Je-li podíl tělesného tuku vysoký nebo podíl svalů nízký, podíl vody v těle bude spíše nízký (<http://www.cyklomania.cz>).

3.5 Celkový tělesný draslík

Draslík je jedním z nejrozšířenějších prvků v těle. 98% draslíku je uvnitř buněk, kde se vyskytuje jednak jako volný iont a jednak ve formě vázané. Má rozhodující význam pro normální fungování nervů a svalů, pro metabolismus cukrů v organismu, pro regulaci kyselino-zásadité rovnováhy a osmotického tlaku v těle a pro metabolismus kyslíku v mozku. Správné hospodaření s draslíkem v těle je nezbytné pro činnost srdce, aby nedošlo k porušení jeho pravidelné rytmické činnosti (<http://zdrave-jidlo.com>).

Rozdíl mezi koncentrací draslíku uvnitř buňky a v zevních tělesných tekutinách, který je zajišťován sodíko-draslíkovou pumpou je jedním z hlavních funkčních mechanismů živé buňky. (<http://www.nexars.com/cz/draslik.php>).

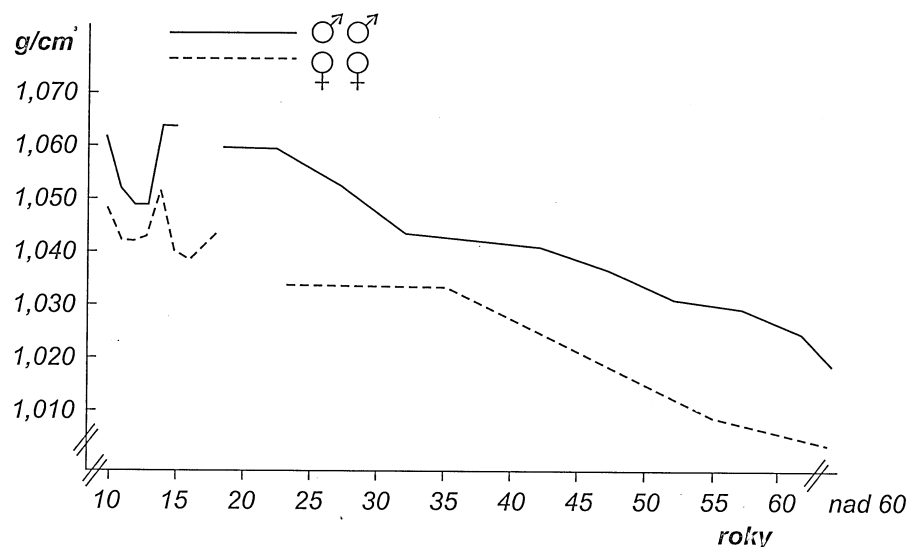
Celkový tělesný draslík v těle je závislý na věku, hmotnosti a pohlaví. Dospělý asi 70kg vážící člověk má v těle asi 135g draslíku. Největší obsah draslíku je ve svalech, játrech a dalších parenchymatozních orgánech. Funkce draslíku je nepostradatelná v procesu růstu a dělení buněk, dále má zásadní funkci v elektrických procesech nervového systému, vedení nervového vzruchu, ve svalovém vzruchu a obecně při získávání energie z živin. (<http://www.nexars.com/cz/draslik.php>).

Doporučená dávka draslíku pro obě pohlaví od věku 11 let je stanovena 3100mg na den. V těle je udržována zásoba draslíku ve svalech a v játrech. Při nadbytečném přívodu draslíku do těla je vytvořena rovnováha mezi příjmem a výdejem do moči. Vylučování do moči při vyrovnané bilanci se pohybuje obvykle mezi 60 -100 mmol/24 hodin, ztráty pocením jsou zhruba 10 mmol/l. Je-li výrazně omezen přísun draslíku do těla, klesá vylučování draslíku blízko k nulové hodnotě a ztráty do stolice se pohybují kolem 3,5 mmol za den. (<http://www.nexars.com/cz/draslik.php>).

Draslík spolu se sodíkem patří mezi biogenní prvky a poměr jejich koncentrací v buněčných tekutinách je významným faktorem pro zdravý vývoj organismu (<http://www.musclepoint.cz/scripts/jednotlive-slozky.php>).

3.6 Denzita těla

Obecně platí, že muži mají vyšší denzitu těla než ženy prakticky ve všech obdobích ontogeneze. K významné sexuální diferenciaci dochází v období adolescence. Obecným jevem je i postupný pokles denzity těla se zvyšujícím se věkem (stárnutí). Sledování specializovaných vzorků populace (studenti tělesné výchovy, sportovci, osoby těžce fyzicky pracující) jednoznačně svědčí pro vliv aktivity na podíl tuku odvozený z denzimetrie. Srovnání různých etnických skupin umožňuje soudit i na genetickou dispozici (Riegrová a spol., 2006).

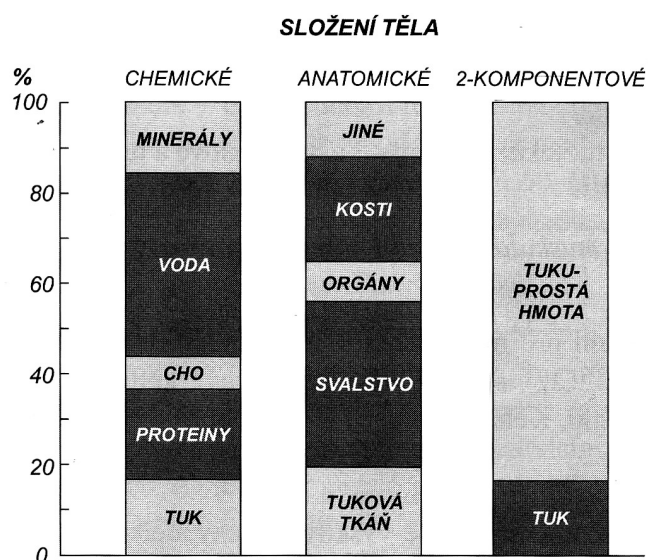


Obr. 3. Vývoj denzity těla

(podle Pářízkové (1962), Kraywického (1967), Yongové (1963))

4. Modely tělesného složení

Původní pohled na komponenty tělesného složení byl dán chemickým či anatomickým modelem. Chemicky je tělo tvořeno tukem, bílkovinami, sacharidy, minerály a vodou. Tento klasifikační systém je preferován ve vztahu k tělesným energetickým zásobám. Anatomicky je tělo tvořeno kostmi, svalstvem, tukovou tkání, vnitřními orgány a ostatními tkáněmi. Anatomický klasifikační systém je preferován v těch případech, kdy jsou studovány vlastní otázky tělesného složení.



Obr. 4. Chemický, anatomický a dvoukomponentový model tělesného složení

(upraveno podle Wilmora 1992)

Determinace tělesného složení vychází z definic a formulací pěti modelů tělesného složení.

4.1 Anatomický model

Vychází ze zastoupení jednotlivých prvků v organismu. 98% tělesné hmotnosti je kryto šesti prvky: O, C, H, N, Ca, P, zbývající 2% představuje dalších 44 prvků. Analýzy byly prováděny chemickou cestou na mrtvolách. K rekonstrukci prvkového složení se používá neutronové aktivační analýzy (Forbes, 1987, Heymsfield, Waki, Kehayas et al., 1991, Jebb, Elia, 1993).

4.2 Molekulární model

Vychází z poznatku, že 11 hlavních prvků tvoří molekuly, které představují více než 100 000 chemických sloučenin lidského těla, tyto molekuly se liší svojí složitostí - od vody až po deoxyribonukleové kyseliny. Sledují se zejména tyto komponenty tvořící lidské tělo: voda, lipidy, proteiny, minerály a glykogen. Tento model tvoří základ pro vyšší úroveň tělesného složení a propojuje studia tělesného složení s ostatními výzkumnými oblastmi, především s biochemií. Na molekulární úrovni lze měřit např. celkovou tělesnou vodu (Pařízková, 1998). Celkovou tělesnou vodu lze měřit pomocí izotopových dilučních metod a minerály skeletu dual-fotonovou absorpcí (*Forbes, 1987, Heymsfield, Waki, Kehayas, et al., 1991, Jebb, Elia, 1993, Wang, 1997*). Jednotlivé molekulární komponenty se spojují v buňky.

4.3 Buněčný model

Tento model se zabývá se lidskou fyziologií i patologií včetně tělesného složení, v centru jeho pozornosti stojí vzájemné funkce a interakce mezi buňkami. Mezi často sledované komponenty patří buněčná masa (BM = svalové pojivové epiteliální nervové buňky), ECT tekutina (ECT = plasma + intersticiální tekutina) a extracelulární pevné látky (ECPL = organické + anorganické pevné látky).

Buněčnou úroveň lze popsat rovnicí: (*Pařízková, 1998*)

$$\text{hmotnost těla} = \text{BM} + \text{ECT} + \text{ECPL} + \text{buňky tukové tkáně}$$

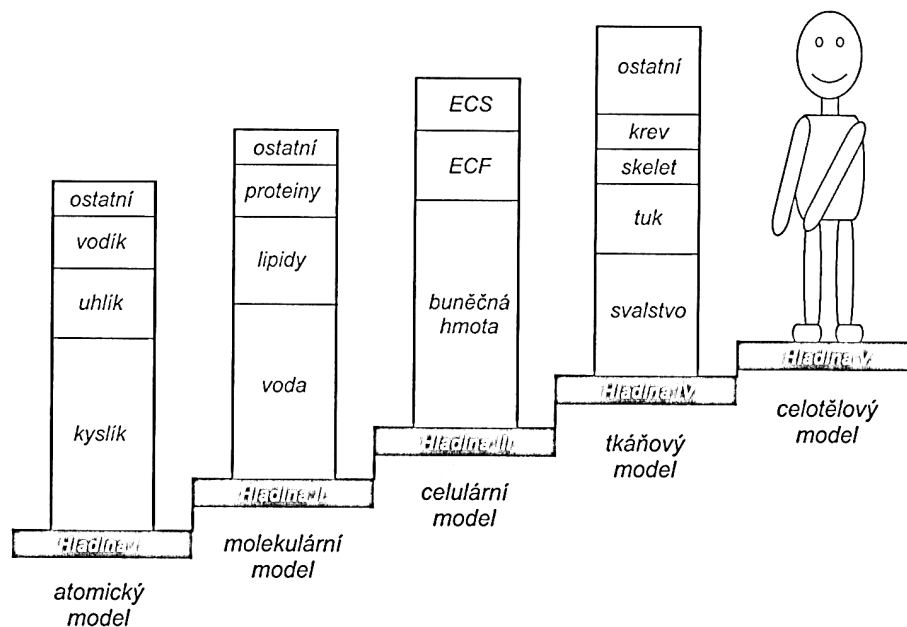
Extracelulární a plazmatickou tekutinu lze měřit izotopovými dilučními metodami, neutronovou aktivační analýzou – např. K nebo N. (*Riegrová a spol., 2006*).

4.4 Tkáňově - systémový model

Vychází z představy, že 75% hmotnosti tvoří tři tkáně a to kostní, svalová a tuková. Celý organismus je potom definován: hmotnost těla = muskuloskeletární kožní nervový oběhový respirační zaživací vyměšovací reprodukční systém. Jedná se o komplexní model, který zahrnuje lidskou biologii, histologii, histochemii, anatomii i fyziologii. Informace většinou pocházejí ze studií na mrtvolách. Používanými metodami pro manifestaci tohoto modelu jsou magnetická rezonance, tomografie, vylučování kreatininu za 24 hod., neutronová aktivační analýza – K, Ca (Pařízková, 1962).

4.5 Celotělový model

Tento model využívá antropometrická měření ke stanovení jednotlivých ukazatelů, jako je výška, hmotnost, index tělesné hmotnosti (BMI), dále délkové, obvodové a šířkové rozměry, kožní řasy a objem těla, který umožňuje výpočet denzity těla. Z tělesné denzity lze dále vyhodnotit nepřímo aktivní tukuprostou hmotu a depotní tuk (Pařízková, 1962).



Obr. 5. Pětistupňový model tělesného složení člověka
(upraveno dle Heymsfield, Waki, Kehayas et al., 1991)

V klinické a antropologické praxi je využíván dle možností a použití různých přístrojů a technik dvou-, tří-, případně čtyřkomponentový model.

Dvoukomponentový model je z praktického a klinického hlediska nejpoužívanější. Lidské tělo je děleno na dvě základní komponenty – tuk (fat mass, FM) a tukuprostou hmotu (fat-free mass, FFM).

Podle Benkeho a Wilmora (1974) byl zaveden termín „lean body mass“ (aktivní tělesná hmota). Termín lean body mass původně představoval tukuprostou hmotu plus malé množství tzv. esenciálního, špatně odlišitelného tuku – u žen tvoří 5-8%, u mužů 2-3%. Vzhledem k nemožnosti odlišení esenciálních a neesenciálních lipidů je v současné době doporučováno používat koncepci tukuprosté hmoty, která je definována jako hmotnost všech tkání minus extrahovatelný tuk. Dříve byl používán termín aktivní tělesná hmota – ATH (lean body mass-LBM).

Tříkomponentový model rozlišuje v rámci tělesného složení tuk, vodu a sušinu (proteiny, minerály). V praxi byl zjednodušen na podíl tuku, svalstva a kostní tkáň. Čtyřkomponentový model specifikuje hmotnost těla jako součet hmotnosti tuku, extracelulární tekutiny, buněk a minerálů (*Riegrová a spol., 2006*).

5. Metody odhadu tělesného složení

Tělesné složení je technický termín používaný k popisu odlišných komponent těla, které dohromady tvoří hmotnost člověka. Je třeba si uvědomit, že tělesné složení a tělesná hmotnost jsou dva odlišné pojmy a nedají se zaměňovat.

Kvůli nárůstu prevalence nadváhy a obezity v populaci a s ní spojených komplikací a patologických procesů je zájem o vytvoření objektivní metody, která by umožňovala stanovení přesného složení lidského těla. Největší význam má z tohoto hlediska stanovení množství tukové tkáň v těle, což lze provést jedině pomocí nepřímých metod. Přímé stanovení množství tukové tkáň je bohužel možné jedině posmrtně (*Ghosh et al., 1997*).

Měřením složení těla se stanovuje obsah tukové tkáně, tukuprosté hmoty, vody, kostních minerálů a dalších složek těla.

K odhadu tělesného složení se používají laboratorní a terénní metody. Laboratorní metody, například podvodní vážení a metoda duální rentgenové absorpciometrie jsou nepřesné a často jsou využívány jako referenční metody. Tyto metody jsou často díky jejich vysoké ceně využívány jen ve výzkumu (*Elis, 2000*).

Terénní metody, metoda bioelektrické impedance nebo predikční rovnice vycházející z antropometrických měření jsou méně přesné, ale nacházejí širší využití díky snadné aplikovatelnosti a jejich nižší ceně (*Brodie et al., 1998*).

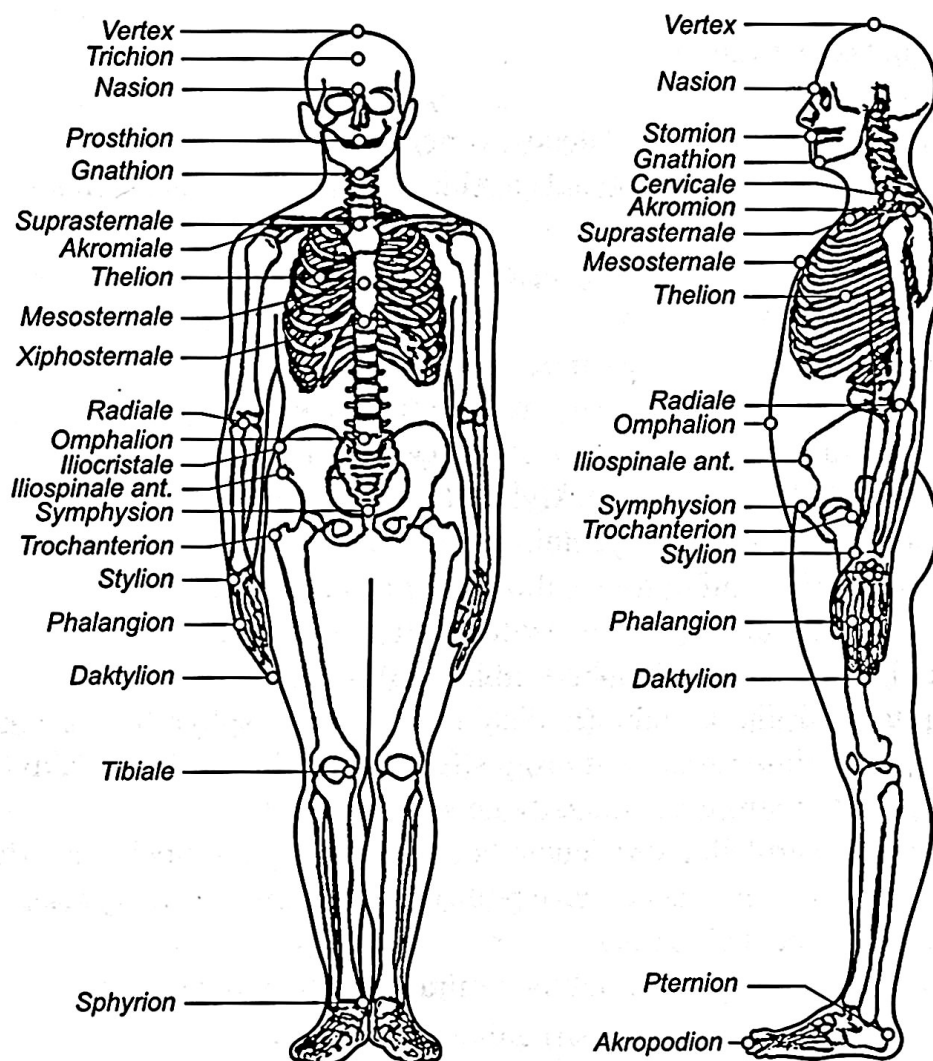
Platí, že pro výběr konkrétní metody jsou určující metodické možnosti a účel měření (*Pařízková, 1962*).

5.1 Antropometrie

Antropometrie je věda, která studuje složení lidského těla, rozděluje se na osteometrii, která se zabývá rekonstrukcí proporcí člověka na základě rozměrů jeho kosterních pozůstatků, a somatometrii, která zachycuje tvar těla živého člověka. Somatometrie představuje systém technik, měření a pozorování člověka a částí jeho těla nejpřesnějšími prostředky a metodami, které slouží k vědeckým účelům. Každý výzkumník má možnost zvolit si a použít pozorování a míry, které jsou nejvhodnější pro jeho práci. V minulosti však byly definovány základní antropometrické postupy, které by měly být dodržovány ve srovnání jednotlivých výsledků (*Drozdová 2004, Fetter, Prokopec, Suchý, Titlbachová 1967*).

Antropometrie je systém měření a pozorování lidského těla a jeho částí. Podkladem pro měření je soustava antropometrických bodů na hlavě, trupu a končetinách. Jsou to většinou místa, kde je kostra překryta pouze kůží, nikoli svaly a tukem. Rozlišujeme 4 body na hlavě a 22 bodů na trupu a končetinách. Z těchto základních antropometrických bodů vycházejí somatické rozměry – tj. základní výškové a délkové rozměry, šířkové rozměry, obvodové rozměry. U dětí je nutné sledovat,

zejména v prvních letech života, alespoň základní hlavový rozměr, tj.obvod hlavy (www.zdravcentra.cz).



Obr. 6. Měrné body na těle

(podle R. Martina)

Při měření se vychází z přesně definovaných antropometrických bodů (*Martin-Saller, 1959, Fetter, 1967*).

Ke správnému označení bodů používaných v somatometrii je nutná znalost anatomie, neboť body na těle představují stejnojmenné body na kostře promítnuté na povrch těla. Body je nutno vypalповat na těle probanda. Přípustná chyba při stanovení výšky těla plus minus 1cm, měř na těle 0,5cm a měř na hlavě 0,1cm. Začátečník si před měřením může body na těle označit. Laterální rozměry měříme obvykle na pravé straně

těla. Při měření výškových rozměrů stojí proband při stěně, které se dotýká patami, hýžděmi a lopatkami, špičky nohou jsou u sebe. Hlava je v rovnovážné poloze v tzv. orientační rovině, která je určena horními okraji obou zvukovodů (tragion) a dolním okrajem očníce (orbitale). Tato rovina má být vodorovná. Proband se dívá před sebe, nesmí se naklánět a pohybovat. Antropometr musí být vždy držen kolmo k zemi (*Riegrová a spol., 2006*).

Metody antropometrie (systém technik měření vnějších rozměrů těla lidského těla) jsou unifikovány (standardizovány), takže jsou celosvětově srovnatelné. K základnímu antropometrickému instrumentáři patří: antropometr, váha (páková, nášlapná, digitální), pelvimetr, velké a malé dotykové měřítko, posuvné měřítko originální a modifikované, pásové míra, požadované typy kaliperů (typ Best, Harpenden, Somet a další – podle požadovaných technik) (*Riegrová a spol., 2006*).

Antropometrie je také nedílná součást zátěžové diagnostiky, zjišťují se tak základní antropometrické parametry vyšetřovaného sportovce. Stavba těla je pro většinu sportovců klíčovým ukazatelem s vysokou korelací ke sportovnímu výkonu. Znalost parametrů a složení těla je rovněž velmi důležitou pomůckou při hodnocení srovnávacích návyků sportovce. Mezi nejzákladnější zjišťované parametry patří vztah tělesné hmotnosti a výšky k množství svalové hmoty a procento podkožního tuku .

Antropometrická měření jsou pouze jednou z metod používaných ke zjišťování a sledování výživového stavu. Z výsledků antropometrických vyšetření lze určit celkové množství tuku v těle a jeho rozložení, a zda má jedinec sníženou nebo zvýšenou tělesnou hmotnost vzhledem ke svému věku a tělesné výšce. Antropometrie však nemůže nahradit hematologická a biochemická vyšetření výživového stavu, pouze je doplnit. Výsledky získané při antropometrickém vyšetření jsou dobrým indikátorem dlouhodobé energetické rovnováhy, pomáhají vybrat rizikové jedince i skupiny populace a mají nezastupitelné místo v intervenčních programech (<http://centrumprev.sweb.cz/MANUAL/MANII-oddil5.htm>).

I přesto, že vhodná kombinace proporcionálních indexů (např. BMI a WHR) nám celkem snadno umožňuje hodnotit vztah výšky k hmotnosti, rozhodně z nich, ale nezjistíme, jakou hmotnost v našem těle zabírají komponenty jakými jsou svalovina,

kosti, tuk nebo voda. Tento problém lze dnes vyřešit tzv. impedančním měření, dříve jsme byli odkázáni na nepřímé metody odhadu tělesného složení, z nichž některé se používají dodnes. Existuje více takových metod, ale u nás se nejvíce prosadila tzv. Matiegkova metoda odhadu anatomického složení (Kokaisl, 2007).

Matiegka (1921) se pokusil o kvantifikaci tělesných komponent na základě zevních (antropometrických) rozměrů těla. Navrhl rozdělení hmotnosti těla na čtyři složky: **O** – hmotnost skeletu (ossa), **D** – hmotnost kůže (derma) a hmotnost podkožní tukové tkáně, **M** – hmotnost kosterního svalstva (musculi) a **R** – hmotnost zbytku (rezidua). Toto rozdělení nelze zaměňovat s čtyřkomponentovým modelem, odpovídá spíše modelu tříkomponentovému (Riegrová, 2006).

Jedná se o levnější metodu, dobře dostupnou a velice rychlou, v odborných diskuzích antropology uznávanou. Vypočítává hmotnost (kg) a % tuku, svalů, kostí a zbytku dle změřené výšky, hmotnosti, kožních řas, obvodů a šířek kostí.

Matiegkova metoda vychází z jednoduchého vztahu:

$$m = O + D + M + R$$

m	...	celková tělesná hmotnost
O	...	hmotnost kostry
D	...	hmotnost kůže a podkoží (včetně podkožního tuku)
M	...	hmotnost svalstva
R	...	hmotnost zbytku (např. orgánů)

Pokud tuto jednoduchou rovnici upravíme, snadno zjistíme hmotnost hmotnost orgánů a dalších segmentů, jejichž hmotnost lze dopočítat. Hmotnost ostatních frakcí (kosti, kůže, podkožní tuk, svalstvo) jsme schopni vypočítat. Z rovnice je pak snadné spočítat procentní podíl jednotlivých komponent. Pro výpočet hmotnosti kostry potřebujeme znát tyto antropometrické rozměry: šířka epikondylu humeru (šířka dolního konce kosti pažní u loketního kloubu), šířku dolní epifýzy humeru (šířka dolního konce kosti stehenní u kolenního kloubu), šířku zápěstí, šířku kotníku a tělesnou výšku.

Hmotnost kostry vypočteme tímto vztahem:

$$O = o^2 \cdot v \cdot k$$

$$o = o_1 + o_2 + o_3 + o_4 / 4$$

kde:

o₁	...	šířka epikondylu humeru
o₂	...	šířka dolní epifýzy humeru
o₃	...	šířka zápěstí
o₄	...	šířka kotníku
v	...	tělesná výška
k	...	koeficient (k = 1,2)

Výpočet hmotnosti kůže a podkoží je založen na znalosti šířky šesti kožních řas: na bicepsu paže, na vnější straně předloktí v místě největšího obvodu, na kvadricepsu v polovině délky, na lýtku v místě největšího obvodu, na hrudníku ve výšce 10. žebra na bříše. Hmotnost vypočteme tímto vztahem

Hmotnost kůže a podkožní tkáně:

$$D = d \cdot S \cdot k_2$$

$$d = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 / 6$$

kde:

d₁	...	kožní řasa nad m. biceps brachii
d₂	...	kožní straně na volární straně předloktí v místě největšího obvodu
d₃	...	kožní řasa nad m. quadriceps femoris v polovině vzdálenosti mezi trochanterion a tibiale
d₄	...	kožní řasa na zadní ploše lýtku v místě maximálního obvodu
d₅	...	kožní strana na hrudníku ve výšce 10. Žebra
d₆	...	kožní řasa na bříše
S	...	povrch těla

$$S = 71,84 \cdot \text{hmotnost}^{0,425} \cdot \text{výška}^{0,725} \text{ (cm}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{cm)}$$

kde:

m	...	tělesná hmotnost
v	...	výška
k	...	koeficient (k = 0,13)

Pro výpočet hmotnosti svalstva musíme změřit tyto obvodové rozměry: obvod paže, obvod předloktí, střední obvod stehna a obvod lýtky. Kromě toho také kožní řasu na tricepsu paže a výše zmíněné řasy. Pak postupujeme dle následujícího vztahu:

$$M = r^2 \cdot v \cdot k$$

$$r = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 / 4$$

r₁	...	obvod paže – kožní řasa na tricepsu – kožní řasa na bicepsu paže
r₂	...	obvod předloktí – kožní řasa na předloktí
r₃	...	střední obvod stehna – kožní řasa na stehně
r₄	...	max. obvod lýtky – kožní řasa na lýtku
v	...	tělesná výška
k	...	koeficient (k = 6,5)

Po tomto výpočtu zjistíme následující rovnicí hmotnost zbytku:

$$R = \text{hmotnost těla} - (O + D + M)$$

Nakonec můžeme určit procentuální podíl hmotností jednotlivých komponent k celkové hmotnosti probanda (Kokaisl, 2007).

Matiegkova metoda je vhodná především pro sledování vlivu výživy a tělesného cvičení na změnu v zastoupení jednotlivých komponent, jelikož v obou případech jde často ani ne tak o nabývání hmoty ale spíše o přeskupování a přetváření jednotlivých složek (svalstvo, tuk). Pokud po skončení výzkumného období nezjistíme změnu váhy,

mohlo přesto dojít k velké změně jakosti tkání - ubylo tuku a přibylo svalstvo nebo naopak. Dva lidé stejné váhy se mohou lišit v mocnosti svalstva, tukové vrstvy a robusticitě kostry (*Fetter, Prokopec, Suchý, Titlbachová 1967, s.48*).

Metoda byla vypracována na středoevropských populacích, proto poskytuje v našem prostředí dobré výsledky. Na tehdejší dobu to byla průkopnická práce, v níž Matiegka uvedl také výsledky analýzy tělesné skladby u živého člověka (*Fetter, Prokopec, Suchý, Titlbachová 1967*).

5.2 Měření tloušťky kožních řas

Kaliperace nebo-li měření tloušťky kožních řas patří mezi nejrozšířenější metody stanovení celkového tuku v těle u nás i ve světě. Jedná se o metodu finančně, technicky, časově i prostorově nenáročnou. Touto metodou lze zhodnotit podíl tuku i netukové tělesné hmoty. Empiricky bylo odvozeno, že celkové množství tuku v těle dobře koreluje s tloušťkou kožních řas. Kožní řasu je možno vytáhnout a změřit, neboť podkožní tuk přiléhá silněji ke kůži než k vrstvám uloženým pod ním (<http://centrumprev.sweb.cz/MANUAL/MANII - oddil/5.htm>).

Odhad podílu tuku na základě tloušťky kožních řas (podkožního tuku) je založen na dvou základních předpokladech:

- 1)tloušťka podkožní tukové tkáně je v konst. poměru k celkovému množství tuku
- 2)místa zvolená pro měření tloušťky kožních řas, reprezentují průměrnou tloušťku podkožní tukové vrstvy.

Tyto předpoklady však nebyly jednoznačně potvrzeny. Není ani dostatek informací o distribuci tuku v různých populačních skupinách. Víme však, že distribuce tuku se mění s věkem, v závislosti na pohlaví, pohybové aktivitě a dalších faktorech. Z toho důvodu je validita regresních rovnic pro odhad tělesného složení z kožních řas omezena jen na populační skupinu, ze které byly rovnice odvozeny.

V literatuře se setkáváme asi se stovkou regresních rovnic (pro děti, dospělé, seniory, etnické skupiny, pro obézní, anorektiky nebo sportovce).

Další omezení této metody vyplývají z techniky měření. Pro příslušné regresní rovnice je nutno specifikovat nejen populační skupinu, typ použitého kaliperu (Best, Lange, Harpenden, Somet, apod.), místo měření, ale i srovnávací metodu, z jejíchž výsledků byly rovnice vypočítány (denzimetrie, hydrometrie, případně další metody). (Riegrová a spol., 2006).

Dnes již existuje celá řada kaliperů, z nichž jsou nejčastěji používány kaliperu typu Best, Harpenden, Somet harpendenského typu, Lange, Lafayette, digitální kaliperu Skyndex a další. Standardní měření kožních řas vyžaduje velmi pečlivý zácvek postupu s přesností odečtu 0,5mm. Palcem a ukazovákem levé ruky se uchopí a vytáhne na stanoveném místě těla kožní řasa. Čelisti měřidla umístíme kolmo asi 1 cm od zdvižené řasy, aby byly obě kožní vrstvy k sobě navzájem rovnoběžné. Místa měření musí být definována stejně přesně, jako antropometrické body dané kostrovým podkladem, neboť tloušťka tukové vrstvy může kolísat i na poměrně malé ploše. (Riegrová a spol., 2006).

Vlastní měření vyžaduje velmi pečlivý zácvek. I u zkušených antropologů může chyba měření dosáhnout až 5%, přičemž se pravděpodobnost chyby zvyšuje u extrémně vysokých či nízkých hodnot. Vzhledem k intervalu spolehlivosti regresních rovnic může chyba odhadu dosáhnout až 9 - 10% (Riegrová a spol., 2006).

Tloušťka kožních řas se měří na různých místech těla. Pařízková doporučuje vycházet z měření deseti kožních řas, lze však vyjít i z měření menšího počtu řas (u nás se často vychází z měření čtyř, dvou nebo jedné kožní řasy). Je vhodné kombinovat měření kožních řas s výpočtem BMI.

Měření kožních řas s sebou nese celou řadu úskalí:

- u kožních řas větší než 50 mm vycházejí hodnoty celkového tuku v těle nižší než při hydrodenzimetrii nebo-li podvodního vážení (referenční metoda)
- stlačitelnost kožní řasy je do značné míry závislá na pohlaví, věku, hydrataci tkáně.
- individuální variabilita tloušťky kůže (i dle způsobu výživy)
- individuální variabilita tloušťky kůže (i dle způsobu výživy).

- ne u každého lze řasu zachytit .
- u zvláště obézních jedinců nestačí kaliper (max. rozpětí u nás dostupného kaliperu je 90 mm)

Z klinického hlediska vyšší hodnoty kožních řas bývají provázeny vyššími hodnotami sérového cholesterolu a triglyceridů (korelace není vysoká, ale konstantní pro obě pohlaví a po celý život), u více než 50% dospělé populace souvisí nárůst podkožního tuku s vyššími hodnotami krevního tlaku. Vysoké hodnoty kožních řas představují vyšší riziko úmrtí na kardiovaskulární onemocnění po 40. roce života, naopak velmi nízké hodnoty kožních řas nesou zvýšené riziko respiračních onemocnění (<http://centrumprev.sweb.cz/MANUAL/MANII-oddil/5.htm>).

Při stanovení procenta tělesného tuku na základě tloušťky kožních řas je nutno použít takový kaliper , který je pro danou metodu stanoven. K přepočtu hodnot zjištěných kaliperem typu Best na hodnoty kaliperu typu Harpenden byly pro jednotlivé kožní řasy odvozeny regresní rovnice.

Rovnice převodu tloušťky některých kožních řas měřených kaliperem bestovým (**B**) na hodnoty odpovídající měření kaliperem harpendenským (**H**):

muži (6 – 70 let):

řasa:

➤nad tricepsem $H = 1,51 + 0,81B$

➤nad bicepsem $H = 1,43 + 0,75B$

➤subscapulární $H = 1,42 + 0,85B$

➤suprailiální $H = 0,92 + 0,82B$

ženy (6 – 70 let):

řasa:

➤nad tricepsem $H = 2,13 + 0,77B$

➤nad bicepsem $H = 2,02 + 0,70B$

➤subscapulární $H = 1,80 + 0,82B$

➤suprailiální $H = 1,26 + 0,75B$

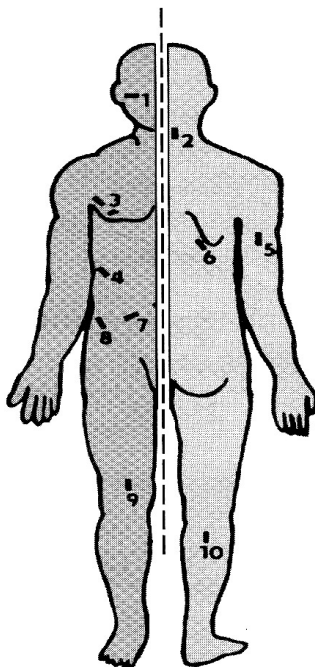
Také použití různých druhů kaliperů může vést k významným odchylkám při stanovení procenta tělesného tuku. Ve sportovních centrech jsou běžně používány kalipery z plastické hmoty, které nejsou přesně kalibrovány a podhodnocují velikost kožní řasy.

Úspěch měření je kožních řas je závislý na velké přesnosti, lepší je provádět alespoň 3 měření a používat průměr. Měření na pravé či levé straně těla nepřináší rozdíly, i když většinou se k měření používá pravá strana. Při přesnosti měření sehrává svou roli také individuální rozmístění podkožního tuku na jednotlivých částech těla. Hodnoty měření jednotlivých kožních řas mohou být použity přímo při sledování rozsahu změn tukové složky v čase při dietním a rekondičním programu. Pomocí kaliperu tak můžeme sledovat a dokumentovat vývojové trendy, zejména pokud provádíme opakovaná měření stejným kaliperem a stejnou metodikou. Hodnoty z měření kožních řas lze také použít v matematických rovnicích k odhadu procenta tělesného tuku. Takových rovnic bylo publikováno více než 100 a jsou specifické pro jednotlivá pohlaví a podobné skupiny z hlediska věku a stupně tělesné aktivity. (<http://vyziva.kairos.cz>)

Kaliperace je pro pacienta metoda velice nepříjemná a nepřesná. (<http://bmi2007.clevis.org/>)


5.2.1 Odhad podílu tuku dle Pařízkové


V této metodě je měřeno celkem 10 kožních řas, měřeno v mm.





Obr. 6. Lokalizace a průběh kožních řas


Kožní řasy:


 **Tvář** – kožní řasa na tváři = řasa probíhající vodorovně ve spojnici tragus-alare (nozdry), měří se přímo pod spánkem tak, aby byl měřen tukový polštář tváře.



 **Brada** – kožní řasa na podbradku (nad jazyčkou = řasa probíhá svisle, měří se přímo nad jazyčkou, hlava je při měření mírně zvednuta, krk nesmí být příliš napjat



 **Hrudník 1** – kožní řasa na hrudníku 1 (v přední axilární čáře = řasa probíhá šikmo, měří se nad velkým prsním svalem v místě předního podpažního záhybu.



 **Paže** – kožní řasa nad tricepsem (nad musculus biceps brachii) = řasa probíhá svisle, měří se nad trojhlavým svalem pažním (v polovině vzdálenosti mezi acromion a olecranon na zadní ploše), paže visí volně podél těla.



 **Záda** – kožní řasa subskapulární = řasa probíhá mírně šikmo podél průběhu žeber, měří se přímo pod dolním úhlem lopatky.

 **Břicho** – kožní řasa na břiše = řasa probíhá vodorovně, zvedáme ji v místě čtvrtině vzdálenosti pupek – horní přední trn, tj. blíže k pupku.

  Hrudník 2 – kožní řasa na hrudníku 2 (ve výši 10. žebra) = řasa probíhá podél průběhu žeber, měří se v průsečiku. 10. žebra s přední axilární čarou

  Bok – kožní řasa suprailiální = řasa probíhá podél průběhu hřebene kosti kyčelní, měří se v průsečiku hřebene a přední axilární čáry.

  Stehno – kožní řasa na stehně (nad čtyřhlavým svalem stehenním) = řasu měříme na stehně nad čtyřhlavým svalem v polovině kosti stehenní, dolní končetina je uvolněná.

  Lýtka – kožní řasa na lýtku (pod fossa poplita) = řasa probíhá svisle, měří se asi 5 cm pod kolenní jamkou, dolní končetina je při měření zcela uvolněná ve stejné pozici jako při měření na stehně.

% tělesného tuku následně vypočítáme dle vztahu:

muži (17 – 45 let):

$$\%T = 28,96 \log x - 41,27$$

ženy (17 – 45 let):

$$\%T = 35,572 \log x - 61,25$$

kde:

%T ... procento tělesného tuku

x ... součet deseti kožních řas

Lze říci, že metoda dle Pařízkové většinou podhodnocuje, a to téměř u všech populačních skupin.

Pro odhad podkožního tuku v zahraničí jsou využívány jiné typy regresních rovnic, vycházející z menšího počtu řas, lokalizovaných zejména v horní části těla. Nejsou tak schopny postihnout gynoidní typ obezity, ani větší množství podkožního tuku na dolních končetinách. Některé z rovnic jsou často součástí softwaru digitálních kaliperů (Riegrová a spol., 2006).

5.2.2 Odhad podílu tuku dle Deurenberga a Westrate(1989)

Regresní rovnice vycházejí pouze z věku: (<http://www.halls.md/bmi/fat.htm>)

➤ *děti:*

$$\% \text{ tuku} = 1,51 \times \text{BMI} - 0,7 \times \text{věk} - 3,6 \times \text{pohlaví} + 1,4$$

➤ *dospělí:*

$$\% \text{ tuku} = 1,2 \times \text{BMI} + 10,23 \times \text{věk} - 10,8 \times \text{pohlaví} - 5,4$$

➤ *pohlaví:*

○ muži = 1

○ ženy = 0

5.2.3 Odhad podílu tuku dle Slaughtera (1988)

Tyto rovnice vycházejí z národnosti, pohlaví a zralosti. Byla použita kožní řasa tricepsu a kožní řasa subscapularis.

Děti a mládež (černá i bílá rasa):

➤ Σ triceps + lýtko

○ chlapeci:

$$\% \text{ tuku} = 0,735 (\Sigma \text{ KŘ}) + 1,0$$

○ dívky:

$$\% \text{ tuku} = 0,610 (\Sigma \text{ KŘ}) + 5,1$$

➤ Σ **triceps + subscapulare**

➤ pokud součet kožní řasy tricepsu a subsacpularis je větší než 35 mm, rovnice je následující:

○ **chlapeci:**

$$\% \text{ tuku} = 0,785 (\Sigma \text{ KŘ}) + 1,6$$

○ **dívky:**

$$\% \text{ tuku} = 0,546 (\Sigma \text{ KŘ}) + 9,7$$

➤ je-li výsledný součet kožních řas menší než 35 mm:

○ **chlapeci:**

$$\% \text{ tuku} = 1,21 (\Sigma \text{ KŘ}) - 0,008 (\Sigma \text{ KŘ})^2 + 1$$

○ **dívky:**

$$\% \text{ tuku} = 1,33 (\Sigma \text{ KŘ}) - 0,013 (\Sigma \text{ KŘ})^2 - 2,5$$

Dospělí:

➤ Σ **KŘ triceps + subscapulare + stehno**

○ **ženy (18-55 let):**

$$D (\text{g/cm}^2)^a = 1,0994921 - 0,0009929 (\Sigma 3 \text{ KŘ}) + 0,0000023 (\Sigma 3 \text{ KŘ})^2 - 0,0001392$$

➤ Σ **KŘ hrudník + břicho + stehno**

○ **Muži (18-61 let):**

$$D \text{ (g/cm}^2\text{)}^a = 1,109380 - 0,0008267 (\sum 3K\check{R}) + 0,0000016 (\sum 3 K\check{R})^2 - 0,0002574$$

K \check{R} ... kožní řasy

I ... konstanta odvozená podle zralosti:

➤ prepubertální věk – 1,7

➤ pubertální věk – 3,4

➤ postpubertální věk – 5,5

a - pro převod denzity (D) těla na % tělesného tuku se použijí následující rovnice:

○ **muži:**

$$\% \text{ tuku} = (4,95/D - 4,50) \times 100$$

○ **ženy:**

$$\% \text{ tuku} = (5,01/D - 4,57) \times 100 \text{ (Riegrová a spol., 2006)}$$

5.2.4 Odhad podílu tuku podle Durnina a Womersleyho (1974)

Procento tělesného tuku je odvozeno ze součtu čtyř kožních řas (nad bicepsem, tricepsem, suprailiac, subscapular).

○ **muži:**

$$D = (1176,5 - 74,4 \times \log (\sum K\check{R} \text{ triceps,biceps,subscapular,suprailiac}) / 1,000$$

○ **ženy:**

$$D = (1156,7 - 71,7 \times \log (\sum K\check{R} \text{ triceps,biceps,subscapular,siprailiac}) / 1,000$$

D ... denzita

○ pro obě pohlaví se na procenta převodu tuku používá rovnice dle Siriho:

$$\% \text{ tuku} = (4,95/D - 4,5) \times 100 \text{ (Durnin, Womersley, 1974).}$$

5.2.5 Odhad procenta tuku dle Garcíá

○muži:

$$\% \text{ tuku} = - 40,750 + (0,397 \times \text{waist circumference}) + 6,568 \times (\log \text{ SF triceps} + \log \text{ SF subscapular} + \log \text{ SF abdominal})$$

waist circumference ... obvod pasu

SF ... kožní řasa

○ženy:

$$\% \text{ tuku} = - 75,231 + (0,512 \times \text{obvod boků}) + 8,889 \times (\log \text{ SF chin} + \log \text{ SF triceps} + \log \text{ SF subscapular}) + (1,905 \times \text{knee breadth})$$

Tato rovnice bere v úvahu jiné kožní řasy u mužů a jiné u žen (*García et al., 2005*).

5.2.6 Odhad podílu tuku dle Petersona

Tyto rovnice berou v úvahu 4 kožní řasy (na tricepsu, subscapularis, suprailiac, midhigh) dále se v nich počítá s věkem a výškou. (*Peterson et al., 2005*)

○muži:

$$\% \text{ tuku} = 20,94878 + (\text{věk} \times 0,1166) - (\text{výška} \times 0,1166) + (\text{výška} \times 0,11666) + (\sum 4 \text{ KŘ})^2 \times 0,42696 - (\sum (4 \text{ KŘ})^2 \times 0,00159)$$

○ženy:

$$\% \text{ tuku} = 22,18945 + (\text{věk} \times 0,06368) + (\text{BMI} \times 0,60404) - (\text{výška} \times 0,14520) + (\sum 4 \text{ KŘ} \times 0,30919) - (\sum (4 \text{ KŘ})^2 \times 0,00099562)$$

5.2.7 Odhad % tuku dle Vignerové a Bláhy

Vignerová a Bláha (2001) uvádějí pro odhad % tuku rovnice, které vycházejí ze součtu dvou kožních řas pro dětské kategorie. (Riegrová a spol., 2006)

○chlapci:

$$\% \text{ tuku} = 0,735 (\text{triceps} + \text{subscapulare}) + 1,0$$

○dívky:

$$\% \text{ tuku} = 0,610 (\text{triceps} + \text{subscapulare}) + 5,1$$

6. Biochemické a biofyzikální metody k odhadu tělesného složení

Kromě kaliperace byly pro měření tloušťky kožních řas vyvinuty i další metody. Tyto alternativní přístupy se snaží odstranit technické chyby při měření kaliperem, dané především různou stlačitelností tkání u osob s extrémními variantami tělesného složení. Uvedené metody jsou založeny na podobných principech jako kaliperace a v tomto důsledku je omezení jejich přesnosti stejné jako při použití kaliperu (Přidalová a spol., 2006).

Biochemické metody slouží především pro odhad rozvoje svalstva, jsou založeny na stanovení svalových metabolitů. Kriticky diskutovanou metodou je kreatininurie, která stanovuje obsah kreatininu ve svalech. Využití kreatininurie pro odhad rozvoje svalstva vychází z předpokladu, že:

- 1) vylučovaný kreatinin je produktem metabolických pochodů v kosterním svalstvu a je endogenního původu
- 2) jeho množství odpovídá množství svalové tkáně

Tyto předpoklady jsou velmi často kriticky diskutovány především pro vysokou intraindividuální variabilitu kreatininurie (11-12%) v důsledku příjmu exogenního

kreatininu v potravě a ovlivnění úrovně pohybové aktivity. Vyšetření tedy předpokládá několikadenní bezmasou dietu a klidové podmínky před vlastním vyšetřením (*Riegrová a spol., 2006*).

Navíc vyloučený kreatinin není konstantní vzhledem ke svalstvu a ATH, ale mění se v závislosti na věku, pohlaví, tělesné aktivitě a metabolickém stavu jedince. Byl však zjištěn velmi těsný vztah mezi kreatininurií a celkovým plazmatickým kreatininem, jehož 1mg odpovídá 0,88 – 0,98kg svalové hmoty (*Riegrová, Ulbrichová, 1998*).

Pro odhad tělesného složení může být využita i metoda sledování vylučování 3-methylhistidinu, který je považován za obraz odbourávání svalových proteinů. Výsledky této metody se shodují s výsledky denzitometrie, celkovým tělesným dusíkem a draslíkem. V praxi se však tyto biochemické metody z důvodu vysoké intraindividuální variability příliš nevyužívají (*Riegrová, Ulbrichová, 1998*).

Biofyzikální metody vycházejí z výsledků chemických analýz různých tkání lidského těla. Pro vyhodnocení využívají biofyzikální metody odhadu obsahu jednotlivých prvků v organismu. Patří sem stanovení celkového tělesného draslíku (pro stanovení celkové buněčné masy a ATH), vápníku (pro kvantitativní hodnocení celkových kostních minerálů) a dusíku (pro odhad svalové hmoty). Dále se využívá neutronové aktivační analýzy, pro zhodnocení mnohoprvkového složení lidského těla a duální rentgenové absorpciometrie (DEXA), která slouží pro odhad celkové hmoty a podílu tuku. Tyto metody jsou velice slibné, avšak nákladné. V budoucnu by mohly sloužit jako nejlepší standardy pro hodnocení validity ostatních technik (*Pařízková 1998, Riegrová, Ulbrichová 1998*).

6.1 Bioelektrická impedance (BIA)

BIA měří složení těla malým, bezpečným elektrickým proudem, který prochází tělem. Elektrický proud volně prochází tekutinami ve svalových tkáních, ale při

průchodu tukovými tkáněmi se setkává s odporem. Tento odpor tukových tkání vůči průchodu elektrickému proudu se nazývá bioelektrická impedance a je měřen přístrojem na měření tělesného tuku. Z naměřené hodnoty impedance, poměru výšky, hmotnosti a dalších korekcí tento přístroj vypočítá procenta tělesného tuku a další hodnoty (<http://www.inbody.cz/>).

Princip této metody spočívá na rozdílech v šíření elektrického proudu nízké intenzity s vysokou frekvencí v různých prostředích těla (tuk, beztuková tkáň a voda) (Hainer, Kunešová a spol., 1997).

Tukuprostá hmota, obsahující vysoký podíl vody a elektrolytů, je dobrým vodičem, zatímco tuková tkáň se chová jako izolátor. Aplikace konstantního proudu nízké intenzity vyvolává impedanci vůči šíření proudu, závislou na frekvenci, délce vodiče, jeho konfiguraci a průřezu. Hodnota odporu tkáně, tzv. bioelektrická impedance je nepřímo úměrná objemu tkáně, kterou elektrický proud prochází (Thomas et al., 1992).

Metoda BIA je založena na principu odlišných elektrických vlastností tuku, tkání a hlavně tělesné vody (Lukaski et al., 1987, Lukaski, Bolonchuk, 1988).

BIA je metodou neinvazivní, terénní, relativně levnou, bezpečnou a v poslední době velice rozšířenou na celém světě. Lze ji využít pro stanovení konkrétních parametrů u zdravých jedinců i u pacientů s různými klinickými diagnózami (Riegrová a spol., 2006).

Tukuprostá hmota vykazuje nízkou impedanci, tuková složka naopak vysokou, vyjádřenou jako rezistenci, specifický odpor, který je úměrný objemu vody. Do výpočtu dále vstupuje reaktance a fázový úhel α , což je úhel mezi vektorem impedance a jejím průměrem do osy x, na které je odporová složka. Velikost tohoto úhlu je přímo úměrná hmotnosti tělesných buněk (BCM) (Riegrová a spol., 2006).

Jmenované parametry vykazují svá specifika změn v závislosti na věku, především v růstových fázích vývoje, v závislosti na tělesné výšce, hmotnosti, obsahu celkové vody a poměru ICT a ECT. Existují velké diference mezi hodnotami na pravé a levé straně těla, především u žen. Výrobci je doporučeno měřit na pravé a levé straně

těla. Rozdíly mezi pravou a levou stranou v důsledku rozdílného zastoupení svalové hmoty, včetně srdečního svalu, způsobují chybu měření, která se rovná 2% a více (*Deurenberg et al., 1990*).

Pro měření BIA je komerčně vyráběna řada aparatur, většinou využívají excitační proud 800 mikroampér s frekvencí 50 kHz.

Využívají se přístroje Bodystat, což je měření bioimpedance profesionálním analyzátozem, který zjistí složení těla (% tuku, vody a bezvodé aktivní těl. hmotnosti), bazální metabolismus metabolickou spotřebu při zvoleném stupni aktivity. Přístroj Bodystat se liší od jednoduchých domácích analyzátorů v mnoha parametrech. Používají se kvalitní elektrody, je dodržována metodika vyšetření. Liší se lokalizace elektrod, mezi nimiž proud probíhá. V komerční sféře se používají bipedální a bimanuální přístroje. Bipedální (nožní) je typ, kdy elektrický proud prochází dolní částí těla (Tanita). Bimanuální přístroj je typ, kdy elektrický proud probíhá pouze horní částí těla (Omron) (*Hainer, 2001*).

Dále se k měření používají přístroje InBody, které jsou zmíněny dále. Základní proměnnou, kterou BIA měří, je celková voda (TBW). Tukuprostá hmota (FFM je dána rozdílem mezi celkovou hmotností a hmotností tělesného tuku) je určována na základě následující rovnice:

$$\mathbf{FFM = TBW \cdot 0,732}$$

Hodnota 0,732 (73,2 %) představuje průměrnou hydrataci tukuprosté hmoty u dospělých. U dětí nacházíme vyšší hydrataci tukuprosté hmoty. Podíl objemu extracelulární vody (ECW) na celkové tělesné vodě s věkem klesá, intracelulární voda (ICW) naopak nabývá na objemu (*Riegrová a spol., 2006*).

Přístroje, které měří pouze odporovou složku bioimpedance, nejsou schopny stanovit extra- a intracelulární vodní poměr. Pro stanovení extra - a intracelulárních objemových složek vody je nutno použít multifunkční zařízení, které umožňuje měřit kapacitní (reaktance) i odporovou (rezistence) složku, tedy celkovou bioimpedanci (*Bunc et al., 1997, Deurenberg et al., 1990*).

Kvantitativně se iontové složení ICW a ECW výrazně liší (*Murray et al., 1998, Rokyta et al., 2000*).

Změny v nárůstu hmotnosti (2 - 4 kg) v období menstruačního cyklu představuje posun v množství TBW (v průměru o 1,5 kg), (*Bunc et al., 1989*).

Tukuprostá hmota se podle molekulárního modelu skládá z BCM (intracelulární hmota) a ECM (extracelulární hmota) (*Bunc et al., 2001, 2004*). Vnitrobuněčná hmota byla odvozena z tukuprosté hmoty (FFM) vztahem:

$$\mathbf{BCM = FFM \cdot \alpha}$$

Kde alfa je fázový úhel. BCM je množství všech buněk schopných využívat kyslík, buněk bohatých na kalcium a buněk schopných oxidovat sacharidy. Jsou to všechny buňky, které se přímo podílejí na svalové práci (*Deurenberg et al., 1995, Bunc et al., 2004*)

ECM, tedy množství tukuprosté hmoty uložené mimo buňky, je dána rovnicí:

$$\mathbf{ECM = FFM - BCM}$$

Index ECM/BCM (extracelulární hmota/buněčná hmota) vyjadřuje důležitý parametr pro hodnocení stavu výživy jedince. Optimální stav výživy odpovídá hodnotě indexu 0,7-0,8. Čím je index nižší, tím větším množstvím tukuprosté hmoty využitelné pro pohybovou aktivitu jedinec má. Muži mají tento podíl nižší než ženy, stejně tak trénovaní jedinci disponují nižšími hodnotou tohoto indexu než netréňovaní. Pokud dosahuje index hodnoty větší než 1,0, je využitelnost tukuprosté hmoty pro svalovou práci nízká (*Koralewski, Gunga, Kirsch, 2003*).

Hodnoty ECM ve vztahu k hodnotám BCM jak u chlapců, tak u děvčat vykazují těsnou závislost na maximální spotřebě kyslíku vztážené na kg tělesné hmotnosti. Autoři poukazují na možnost využití této proměnné pro hodnocení stavu tělesné zdatnosti, případně trénovanosti u sportujících i netréňovaných jedinců (*Bunc et al. 2001*).

Metoda BIA je citlivá na stav hydratace organismu, což může být její výhodou i nevýhodou. Dále záleží na termoregulaci a povrchové teplotě kůže. Stav hydratace organismu může způsobit dle Bunce et al. (2001) chybu měření 2-4%. Aktuální hodnoty tělesného složení získané metodou BIA jsou ovlivněny také množstvím glykogenu (Lukaski, 1987, Graves et al., 1989), vliv hraje předchozí tělesné zatížení především anaerobního charakteru. Pokud nedojde ke kontrole stavu hydratace, doby odstopu od pohybové činnosti či příjmu potravy, může dojít k podhodnocení procentuálního zastoupení podkožního tuku (Havlíčková et al., 1999).

Metoda BIA se ukázala jako nevhodná pro použití u dětské obézní populace a pokud není použit speciální software, není ani vhodná aplikace na běžnou dětskou a sportovní populaci. Dále je při používání této metody nutné přesné dodržení pracovního postupu tak, aby byly zachovány standardní podmínky (Pařízková a spol., 2007).

U vysoce trénovaných jedinců s extrémními parametry tělesného složení mohou predikční rovnice poskytovat chybné údaje (Bunc et al., 2000).

Predikčními rovnicemi jsou vypočítány hodnoty složení těla v absolutních hodnotách i procentuálně (tuk, aktivní tělesná hmota i s odečtem vodního podílu, celková tělesná voda – u špičkových kategorií lze odvodit vodu extracelulární i intracelulární). Naměřené hodnoty a vypočítané výsledky u nejlepších oborových přístrojů mají velmi těsný vztah k náročným referenčním metodikám (hydrodenzitometrie, diluční metody, DEXA, atd). (www.nutrivia.cz/bodystat.php).

Pomocí predikčních rovnic zjistíme množství tuku procentuálně i v absolutní hodnotě, množství ATH, CTV, bezvodé aktivní tělesné hmoty (kostní hmoty a svaloviny), úroveň bazálního metabolismu, tj. energie, kterou člověk vydá v klidovém stavu, výpočet metabolické potřeby při zvoleném stupni fyzické aktivity.

Predikční rovnice pro stanovení procenta tuku jsou specifické dle věku, pohlaví, etnika, úrovně pohybové aktivity, specifická je geriatrická rovnice. Regresní rovnice závisí na distribuci podkožního tuku. Rovnice lze s obtížemi použít do 12 let.

Bunc et al. (1997,2000) dále upozorňují, že je nutné rozlišovat minimálně tři různé kategorie v závislosti na množství tělesného tuku, pro které je nezbytné konstruovat samostatné rovnice. Dané tři oblasti jsou následující:

- 1) množství tělesného tuku nižší než 15 %
- 2) rozmezí mezi 15,1 až 30,0 %
- 3) rovněž nad 30 % hranicí bychom měli použít specifický typ rovnic

Řada softwarů však s těmito kategoriemi nepočítá.

Bunc uvádí, že procento tělesného tuku jak u děvčat, tak u chlapců s rostoucím věkem klesá, asi do 12 let. Poté u děvčat začíná narůstat a u chlapců stagnuje.

Bunc et al. (2001) potvrdili vysoce významné vztahy mezi BMI a množstvím tělesného tuku získaným metodou bioelektrické impedance u dětské populace. Regresní závislost je dána pro chlapce následujícím vztahem:

$$\text{BMI} = 1,086 \text{ TT (\%)} + 4,661$$

Pro dívky je vztah popsán jako:

$$\text{BMI} = 0,801 \text{ TT (\%)} + 5,532$$

Chyba odhadu jednotlivých parametrů u metody BIA byla stanovena na 2- 2,5kg tukuprosté hmoty či 2,7% podílu tuku (Riegrová a spol., 2006).

Riegrová, Sluka (2006) uvádí regresní rovnice, které byly vypočteny z antropometrických a bioimpedačních měření Quad Scanem 4000. Z antropometrických hodnot byly použity: tělesná výška, hmotnost, obvod gluteální a vybrané kožní řasy. Rovnice jsou určeny pro upřesnění odhadu procenta tuku pro obézní dětskou populaci, neboť v softwaru uvedeného přístroje nejsou rovnice pro obézní dětskou populaci zakomponovány. Výpočet vychází z dat výzkumu obézních dětí a mládeže, podstupujících redukční léčbu ve státních lázních Bludov. Uvedeny jsou pouze modely, které vyhovují vzhledem ke statistické významnosti koeficientů beta a B.

U každé rovnice je uvedena přesnost modelu charakterizovaná koeficientem determinace a chyba odhadu. Regresní rovnice jsou určeny pro obézní chlapce a dívky mladšího a staršího školního věku, případně dívky ve věku Juvenis. Při využití obvodových charakteristik trupu, komponent somatotypu, případně kožních tukových řas jsou modely regresních rovnic nevhodné.

Regresní rovnice vypočítané z antropometrických a bioimpedačních měření Quad Scanem 4000 (Riegrová, Sluka, 2006):

Chlapci mladšího školního věku 7-10 let, n = 30

$$\% t = 65,55 + (0,68 \text{ výška}) + (0,55 \text{ hmotnost}) + (0,07 \text{ IMPED } 50 \text{ kHz})$$

koeficient determinace: $r^2 = 0,52$, chyba odhadu: 3,92%

Dívky mladšího školního věku 7-10 let, n = 48

$$\% t = 79,20 + (- 0,91 \text{ výška}) + (0,80 \text{ hmotnost}) + (0,07 \text{ IMPED } 50 \text{ kHz})$$

koeficient determinace: $r^2 = 0,66$, chyba odhadu: 3,84 %

$$\% t = (0,01 \text{ k.ř. suprail}) + (0,30 \text{ k.ř. subscap.}) + (0,07 \text{ k.ř. stř. stehna}) + (0,03 \text{ IMPED } 50 \text{ kHz})$$

koeficient determinace: $r^2 = 0,98$ chyba odhadu: 3,28%

Chlapci staršího školního věku 11-15 let, n = 92

$$\% t = 39,55 + (- 0,44 \text{ výška}) + (0,43 \text{ hmotnost}) + (0,06 \text{ IMPED } 50 \text{ kHz})$$

koeficient determinace $r^2 = 0,84$, chyba odhadu: 2,48%

$$\% t = - 38,2 + (0,23 \text{ obvod pasu}) + (0,20 \text{ obvod gluteální}) + (0,06 \text{ IMPED } 50 \text{ kHz})$$

koeficient determinace $r^2 = 0,68$, chyba odhadu 3,35%

$$\% t = (0,06 \text{ k.ř. suprail.}) + (0,18 \text{ k.ř. subscap.}) + (0,14 \text{ k.ř. stř. stehna}) + (0,03 \text{ IMPED 50 kHz})$$

koeficient determinace $r^2 = 0,99$, chyba odhadu 3,47 %

$$\% t = (0,08 \text{ k.ř. suprail}) + (0,20 \text{ k. ř. triceps}) + (0,17 \text{ k.ř. subscap.}) + (0,02 \text{ IMPED 50 kHz})$$

$r^2 = 0,98$, chyba odhadu 3,75%

Dívky staršího školního věku 11 -15 let, n = 159

$$\% t = 25,37 + (-0,47 \text{ výška}) + (0,55 \text{ hmotnost}) + (0,08 \text{ IMPED 50 kHz})$$

$r^2 = 0,94$, chyba odhadu 1,26%

$$\% t = -59,01 + (0,29 \text{ obvod pasu}) + (0,07 \text{ IMPED 50 kHz})$$

$r^2 = 0,76$, chyba odhadu 2,53%

$$\% t = (0,01 \text{ k.ř. suprail}) + (0,30 \text{ k.ř. subscap.}) + (0,07 \text{ k.ř. stř. stehna}) + (0,03 \text{ IMPED 50 kHz})$$

$r^2 = 0,99$, chyba determinace 3,28%

Dívky Juvenis, 16 -17 let, n = 15

$$\% t = 34,37 + (-0,51 \text{ výška}) + (0,44 \text{ hmotnost}) + (0,99 \text{ IMPED 50 kHz})$$

koeficient determinace: $r^2 = 0,95$, chyba odhadu 1,44 %

Nejpřesnějšími analyzátory složení těla jsou přístroje InBody. Přístroj InBody, který vyrábí společnost Biospace, je první přístroj na světě určený pro

analýzu složení těla, používá metodu osmibodových dotykových elektrod. Poté co tento výrobek vyznačující se vysokou kvalitou a přesností dostal ve Spojených státech oficiální schválení Úřadu pro kontrolu potravin a léčiv (FDA) a schválení úřadů v dalších zemích, jako je Japonsko, byl zcela legalizován.

(<http://www.biospace.cz/technologie.php>).

Přístroje InBody využívají technologii DSM-BIA, která pracuje s vysokofrekvenčním proudem, na rozdíl od klasické BIA, která používá proud o jednotné frekvenci 50 kHz. Jedná se o vylepšenou technologii bioelektrické bioimpedanční analýzy (<http://www.viviente.cz>).

Technologie DSM-BIA přístroje InBody překonává omezení, které má konvenční metoda BIA. Problém je ten, že při jednotlivé nízké frekvenci se musí odhadnout množství nitrobuněčné vody, jelikož nízká frekvence nedokáže přejít přes plazmovou membránu a změřit nitrobuněčnou vodu. Dvojvrstvá buněčná membrána rozděluje tělesné buňky na nitrobuněčnou a mimobuněčnou vodu, jejich poměr je ve zdravém těle proporcionální. Nevyvážené rozdělení tekutiny v těle se ale vyskytuje u starších lidí, u lidí trpících obezitou nebo geriatrickými nemocemi. Mimobuněčná voda se měří nízkofrekvenčními proudy (pod 50 kHz) a nitrobuněčná voda se měří vysokofrekvenčními proudy (nad 200 kHz).

DSM-BIA přesně vyhodnocuje nitrobuněčnou vodu použitím násobných frekvencí, použití násobných proudů zajišťuje přesnost vyčítání impedance. Dále přístroje InBody využívají segmentové měření, kde je tělo rozděleno do pěti různých válců s ohledem na ruce, nohy a trup a impedance každé této části je měřena samostatně. Analýza segmentového složení těla poskytuje segmentové měření tělesné vody a beztukové tkáně. Tato analýza je vysoce přesná, jelikož měřená hodnota konkrétní části těla neovlivňuje ostatní segmenty. Je to proto, že konvenčním analyzátorům složení těla chybí přesnost měření tělesného tuku a také nemohou zjistit, jaký je přesný tvar těla pacienta. To vyžaduje empirické vztahy pro nepřesně měřené hodnoty. Aby se zajistila přesnost impedance trupu, je nezbytné vyvinout přesné technologie měření. Přesné měření trupu přístrojem InBody zvyšuje přesnost analýzy tělesného složení (<http://biospace.cz/technologie.php>).

Dále se používá osmi dotykových elektrod, což umožňuje měřit tělo segmentově, namísto předpokladu, že tělo je samostatný válec a použití čtyř elektrod. Při použití menšího počtu elektrod se tvoří méně přesné a méně reprodukovatelné výsledky. Elektrody jsou strategicky umístěny tak, že proud, který je emitován má stejné startovací a koncové body pokaždé, kdy je jednotlivec testován. Ručně umístěné elektrody jsou předmětem lidské chyby a nemusí mít pokaždé stejné body vstupu (<http://www.biospace.cz/technologie.php>).

U přístrojů InBody není nutné používat empirické odhady, pohlaví a věk výsledky neovlivňují. Zatímco u konvenční BIA jsou výsledky zkresleny statistikou, která je založená na osobních údajích, jako je věk, pohlaví, typ těla atd., konvenční přístroje BIA měří složení těla pouze částečně a zbytek je stanoven statisticky a ačkoliv dávají mnoha lidem odpovídající výsledky, jejich přesnost je velmi nízká u dětí, starších lidí, pacientů a atletů (<http://www.biospace.cz/technologie.php>)

Při měření na přístroji InBody lze zjistit podíl a hmotnost tukové a svalové tkáně v jednotlivých částech těla, podíl a hmotnost tělesné vody, svalové hmoty, tělesného tuku a beztukovou hmotu v celém těle. Dále výpočet váhy, BMI, procentuální podíl tělesného tuku, poměr pasu k bokům (WHR), diagnózu obezity, doporučení minimální kalorické spotřeby, atd. InBody dokáže také velmi přesně změřit i děti, sportovce a velmi obézní lidi, což u dřívějších přístrojů nebylo možné. Velmi vhodné je tento přístroj využít také u osob, u kterých máme podezření na edémy, poruchy příjmu potravy, osteoporózu a svalovou dysbalanci.

Rozlišujeme InBody basic, který umožňuje základní vyšetření složení těla a antropometrických parametrů (tělesnou vodu, tělesný tuk, svalovou hmotu, beztukovou hmotu a tělesnou hmotnost) a InBody komplex, zahrnující podrobné vyšetření složení těla a antropometrických parametrů s odbornou konzultací (nitrobuněčná a extracelulární voda, minerály, proteiny, tuková, kosterní a svalová hmota, beztuková hmota, procentuální podíl tělesného tuku, BMI, poměr pas k bokům a procenta svaloviny v jednotlivých částech těla.

6.2 Denzitometrie

Jedná se o metodu relativně finančně nenáročnou, neinvazivního charakteru, kterou lze kdykoliv opakovat. Její nevýhodou je vyloučení některých probandů z pohledu menší spolupráce, například malých dětí a starých lidí, nemocných nebo jedinců s odlišným vodním metabolismem (*Přidalová a spol., 2006*).

Kromě využití pro odhad tělesného složení je tato metoda používána pro stanovení denzity kostní tkáně. Ultrazvukové denzitometry umožňují vyšetření periferní části skeletu (patní kost, předloktí, články prstů). Jsou to přístroje založené na měření ultrazvukových vln po průchodu vyšetřovanou oblastí. Protože se ultrazvukové vlny rozptylují na povrchu kostních trámců, vypovídá výsledek měření nejen o množství kostního minerálu, ale i o kvalitě kosti (*Rosina a spol., 2006*). Denzitometrie je založena na dvoukomponentovém modelu lidského těla, jehož složky mají odlišnou denzitu. Její princip vychází ze tří základních předpokladů:

- 1) separátní denzity obou komponent jsou aditivní a jsou relativně konstantní u všech jedinců,
- 2) úroveň hydratace FFM (tukuprosté hmoty) je relativně konstantní
- 3) poměr kostních minerálů ve vztahu k svalovým proteinům je rovněž konstantní veličinou. Předpoklad konstantní denzity byl prokazován přímými chemickými analýzami u laboratorních zvířat. Další dva předpoklady jsou stále ještě předmětem diskuse. Největším zdrojem variability v denzitě FFM jsou rozdíly v její hydrataci, což může vést k chybě odhadu tuku kolem 2,7%. Podobně poměr minerálů a proteinů může být variabilní do té míry, že vede k chybě kolem 2,1%. Podobnou denzitu může způsobovat i variabilita denzity kostní tkáně (*Riegrová a spol., 2006*).

Lohman (1981) zjistil, že denzita tukuprosté hmoty u dětí, žen a starších lidí je nižší než předpokládaných $1,1 \text{ g/cm}^3$ a je vyšší například u černé rasy. Z toho důvodu jsou postupně zpracovávány populačně - specifické rovnice pro přepočet denzity na relativní hodnoty podílu tuku v organismu. Z celkové tělesné denzity (**D**) je prostřednictvím různých rovnic stanoven odhad tělesného tuku. Nejčastěji používané rovnice:

Brožek (1963):

$$\% \text{ tělesného tuku} = (4,57/D - 4,412)100$$

Siri (1961):

$$\% \text{ tělesného tuku} = (4,95/D - 4,5)100$$

Lohman (1986):

$$\% \text{ tělesného tuku} = (2,118/D - 0,78 W - 1,354)100$$

W ... *denzita vody (0,9937 g/cc)*

m ... *kostní minerály*

Chyba denzitometrie při odhadu podílu tuku se odhaduje v rozmezí 3 - 4 %. Přes všechny problémy je považována za tzv. zlatý standard pro hodnocení validity ostatních metod.

Denzitometrie vychází ze vztahu hmotnost = denzita objem. Objem těla je zjišťován různými způsoby, přičemž nejrozšířenější je využití principu Archimédova zákona (*Přidalová a spol., 2006*).

Metoda je spolehlivá, výhodou je, že zjišťuje současně depotní tuk i ATH, je relativně laciná a může být často opakována, protože nepředstavuje zdravotní rizika. Nevýhodou metody je její technická i časová náročnost (*Pařízková 1998, Riegrová, Ulbrichová, 1998*).

6.3 Hydrostatické vážení

Vážení pod vodou neboli hydrodensitometrie patří k nejstarším metodám. Měří pouze dva kompartmenty – tuk a beztukovou tělesnou hmotu. Princip této metody vychází z Archimédova zákona, kdy na základě hmotnosti těla pod vodou a na vzduchu lze spočítat denzitu neboli specifickou hmotnost lidského těla a z ní následně obsah tuku. Výpočet obsahu tuku lze provádět dle různých rovnic, jejichž výsledky se mohou značně lišit. U nás se nejvíce používá rovnice dle Keyse a Brožka, Brožka nebo rovnice

dle Siriho. K výpočtu je zapotřebí stanovit reziduální plicní objem, obsah střevního plynu je zadáván jako standardní hodnota (*Hainer, 2004*).

6.4 Pletysmografie

Pletysmografie je založena na principu stanovení objemu těla v hermeticky uzavřeném prostoru, který je vyplněn vzduchem. Výsledkem je denzita těla. Tato metoda se pro dobrou toleranci a menší nutnost přesné spolupráce užívá u dětí (*Hainer, 2004*).

Objem těla je určen na základě tlakových změn vyvolaných pumpou o známém zdvihu. Tato metoda nevyžaduje měření reziduálního objem (*Riegrová a spol., 2006*).

6.5 Radiografické metody

Jsou považovány za nejpřesnější, umožňují i proměření průřezu svalstva a kostí. Nejmodernější metodou je CT (počítačová tomografie), ale díky její ceně a obtížné dostupnosti není rozšířená. (*Riegrová a spol., 2006*).

CT je metoda, která přesněji stanovuje obsah viscerálního (intraabdominálního) tuku. Měří se plocha viscerálního tuku a poměr ploch viscerálního a subkutánního tuku. (*Hainer a spol., 1997*).

6.6 Hydrometrie

Neboli měření celkové tělesné vody. Nejdříve se za pomoci izotopů vodíku-tritia nebo deuteria – stanoví tzv. celková tělesná voda (total body water, TBW) a z této hodnoty se potom vypočítá množství aktivní tělesné hmoty (ATH), přičemž se vychází z předpokladu stavu normální hydratace, který činí 73%. Z rozdílu hmotnosti a ATH je poté stanovena hodnota tělesného tuku. Voda je poměrně stálou složkou tukuprosté

hmoty, zatímco v rezervním tuku obsažena není a na tomto poznatku je hydrometrie založena (Riegrová, Přidalová 1996,s.34).

6.7 Ultrazvuk

Ultrazvuk, podobně jako zvuk, je mechanické vlnění, jeho frekvence je však vyšší než 20 000Hz. Tyto zvuky jsou pro člověka neslyšitelné, lidské ucho je již nevnímá (Rosina a spol., 2006).

Jedná se o biofyzikální metodu, která slouží k odhadu tloušťky podkožního tuku. Vysokofrekvenční ultrazvuk se odráží na hranicích mezi tkáněmi, které se liší odlišnými akustickými vlastnostmi (Přidalová a spol., 2006).

6.8 Neutronová aktivační analýza

Neutronová aktivační analýza umožňuje hodnocení mnohoprvkového složení lidského těla–sodíku, vápníku, chloridů, fosforu a dusíku, s použitím gamaspektrografické metody (Riegrová a spol., 2006).

Množství tukové tkáně přímo souvisí s přítomností těchto prvků, zejména dusíku a draslíku. Během tohoto vyšetření je nemocný vystaven proudu neutronů o vysoké energii a poté je okamžitě umístěn do celotělového denzitometru (fotonásobiče). Množství energie, které je emitováno jádru prvků a které byly aktivovány proudem neutronů, je pak specifické pro obsah rozličných prvků v těle. V tomto případě je měřeno kompaktní spektrum vyzářené pacientem a po analýze tohoto spektra je možno získat údaje o množství dusíku (bílkoviny), uhlíku, chloridu, vodíku a v některých případech i fosforu, vápníku a sodíku v těle (<http://obezita.org/>).

6.9 Celkový tělesný draslík

Vycházíme z izotopových dilučních metod s použitím ^{40}K a využíváme celotělové detektory. Stanovení celkové buněčné masy a FFM na základě metody

determinace celkového množství tělesného draslíku vychází z poznatku, že draslík je uložen zejména intracelulárně (*Riegrová a spol., 2006*).

Přirozený izotop draslíku ^{40}K je v těle zastoupen v konstantních % celkového draslíku (0,0125). Izotop draslíku je radioaktivní a vydává charakteristické záření, které je možno detekovat. Draslík je složkou beztukové tělesné hmoty a její množství lze stanovit z celkového draslíku v těle.

Výpočet FFM vychází z předpokladu, že obsah draslíku je v tukuprosté hmotě konstantní veličinou. Chemické analýzy udávají 2,5 g/kg FFM u žen a 2,66 g /kg FFM u mužů. Další konstanty vychází z poměru draslíku k celkové tělesné vodě, a to 3,16 g/l tělesné vody u žen a 3,41 g/l u mužů. Při konstantní hydrataci (73,2 %) to představuje 2,5 resp. 2,31 g/kg FFM. Nejnovější údaje jsou 2,46, resp. 2,5 g/kg FFM u mužů a žen (*Riegrová a spol., 2006*).

6.10 Celkový tělesný dusík

Určení celkového tělesného dusíku umožňuje odhad svalové hmoty a z odhadu svalové a nesvalové hmoty, kostních minerálů a hmotnosti těla je možno odvodit podíl tuku. Tato metoda má velký význam pro hodnocení rozdílů mezi zdravou populací a nemocnými jedinci (*Přidalová a spol. 2006*).

6.11 Celkový tělesný vápník

Tato metoda je založena na předpokladu, že vápník je konstantní frakcí celkového obsahu kostních minerálů, zaujímá 38 -39%. Je ale známo, že vápník může být i u zdravého jedince ukládán mimo kostní tkáň, což je hlavním nedostatkem této metody (*Riegrová a spol., 2006*).

6.12 Celotělová uhlíková metoda

Velmi přesná metoda, která vychází z faktu, že v celém těle je obsažen uhlík, jako složka tuku, glykogenu, bílkovin a kostního minerálu. Jelikož tento způsob stanovení složení těla představuje pro vyšetřovaného určitou radiální zátěž, není příliš využívána (*Hainer a spol., 2004*).

6.13 DEXA

Metoda používaná pro stanovení obsahu abdominálního tuku, je založená na principu transmisí rtg paprsků ve dvou energetických hladinách, které jsou odlišně absorbovány kostní hmotou a měkkou tkání. Použitá dávka záření je podstatně nižší než při klasickém rtg záření. Několik studií ukazuje malou, avšak systematickou chybu při analýze složení měkké tkáně díky změnám v rovnováze tělesných tekutin (*Goran, 2001*).

Duální rentgenová absorpciometrie (DEXA) je jedna z nejnovějších skenovacích technik, která snímá a měří diferenciální zeslabení dvou paprsků při jejich průchodu tělem (*Pařízková a spol., 2007*).

Tato metoda poskytuje odhad následujících parametrů – tukové tkáně, kostních minerálů a aktivní tělesné hmoty (tzn. tělesné hmoty bez tuku a kostních minerálů). Tyto parametry jsou zaznamenávány pro celé tělo - paže, nohy a trup, přičemž tuk na trupu zahrnuje i oblast hrudníku a břicha (*Goran et al., 1998*).

Délka měření prováděného vleže závisí na druhu přístroje (5-20 minut). Snímací plocha je 60 x 190 cm, nelze tedy vyšetřit obézní subjekty nebo subjekty s větší tělesnou výškou. Přesnost měření se zvětšujícími rozměry klesá. Metoda vyžaduje minimální spolupráci sledované osoby. Nevýhodou je vysoká cena a expozice určitému množství rtg záření (*Riegrová a spol., 2006*).

Měřené osoby jsou minimálně oblečené, obuv, zlato a jiné kovové předměty musí být sundány před každým skenováním (*Ball et al., 2004*).

Ve specializovaných centrech může být DEXA užitečná pro klinické posouzení obezity spojené s dramatickým poklesem netukové tělesné hmoty (tj. obezity související s genetickými, endokrinologickými nebo neurologickými odchylkami a při sledování po bariatrickém výkonu) (Kyle et al., 2004).

DEXA je ze všech metod měření tělesného složení nejpřesnější a používá se jako srovnávací.

6.14 BCM (Body composition monitor, analyzátor složení těla)

Metoda biospektroskopického stanovení tělesných kompartmentů: Přístroj BCM pracuje na principu multifrekvenční bioimpedanční spektroskopie, je schopen exaktním měřením stanovit složení lidského těla na základě trojkompartimentového modelu sestávajícího se z beztukové tkáně (převážně svalovina), tukové tkáně a případného deficitu či nadbytku extracelulární tekutiny (<http://www.bcm-fresenius.com>).

Přístroj je miniaturizován, snadno přenosný, jeho obsluha je velmi jednoduchá a přesnost (reprodukovatelnost) velmi vysoká (<http://www.tigis.cz>).

Tímto multifrekvenčním měřením (50 frekvencí) je metoda schopna, na rozdíl od jednofrekvenčních či vícefrekvenčních přístrojů pracujících na obdobném principu, přesně stanovit objem či deficit nejen kvalitativně, ale i kvantitativně. Na základě porovnání naměřených objemů jednotlivých kompartmentů a podílu vody v nich (svalová a tuková tkán), u nichž je znám „normální“, podíl vody u zdravé populace jak v intracelulárním prostoru, tak v extracelulárním prostoru, pak přístroj s ohledem na věk matematicky vypočítá případný nadbytek či deficit vody v ECT. Metoda je zcela neinvazivní, vyšetření trvá i s přípravou méně než 5 minut, výstupem jsou číselné údaje rozložení tělesných kompartmentů a výstup je i graficky znázorněn. Pro běžnou klinickou praxi tedy tato neinvazivní exaktní metoda nabízí širokou škálu využití (<http://www.bcm-fresenius.com>).

BCM byl uveden v platnost u více než 500 zdravých lidí a pacientů, kteří mají ledvinné selhání, BCM dává informace o individuálním proměnlivém stavu průměry hydratace, distribučním objemu močoviny, celkové tělesné vodě, o stavu ECT a ICT tekutiny, dále o výživovém stavu (<http://www.bcm-fresenius.com>).

7. Závěr

Tato diplomová práce podává přehled o jednotlivých metodách, které stanovují složení těla a jsou používané v klinické praxi. Jedná se zejména o biofyzikální a biochemické metody, často používanou je metoda bioelektrické impedance (BIA). Její princip spočívá v rozdílech v šíření elektrického proudu nízké intenzity v různých biologických strukturách. Platí, že tukuprostá hmota, která obsahuje vysoký podíl vody a elektrolytů, je dobrým vodičem, zatímco tuková tkáň se chová jako izolátor. Metoda BIA je tedy založená na principu odlišných elektrických vlastností tkání, tuku a hlavně tělesné vody. Výsledky jsou závislé na aktuální hydrataci a mohou být tedy nepřesné. K měření se používají bipolární a tetrapolární přístroje, dále přístroje InBody. Společnou nevýhodou všech elektroimpedančních metod je jejich neschopnost zjistit podíl svalové hmoty, jako je tomu například u Matiegkovi metody odhadu tělesného složení, při použití tetrapolárních přístrojů také jejich vyšší cena. Ze starších způsobů odhadu tělesného složení zmiňována metoda hydrostatického vážení, kdy objem těla je zjišťován z rozdílu hmotnosti těla na suchu a pod vodou, při kterém je tělo nadlehčováno vzduchem, který se nachází v dýchacích cestách a plicích. Vlastní vážení se provádí na hydrostatické váze. Dále se využívá pletysmografie, radiografické metody, ultrazvuk, infračervená interakce, voluminometrie, atd. V této práci jsou popsány i jednotlivé somatotypy, vlastní složení těla, včetně problematiky distribuce tuku. Dalším předmětem zájmu jsou jednotlivé metody zkoumání tělesného složení i jeho odhady, které dělíme na laboratorní a terénní. V současné době jsou nejčastěji používanými metody denzitometrie, hydrostatické vážení a metoda duální rentgenové absorpciometrie (DEXA), případně hydrometrie. Vybrané laboratorní metody jsou současně referenčními metodami. Pro terénní praxi jsou náročné z hlediska technického vybavení, organizačních možností (probandi se musí dostavit do laboratoře), nároků na odbornost a cenové relace přístrojové techniky. K odhadu tělesného složení se využívají antropometrická měření, která nám dávají přesné informace o tělesných rozměrech. Při měření se vychází z přesně definovaných antropometrických bodů, přičemž technika měření je standardizována, to znamená, že je celosvětově srovnatelná. Dále se využívá kaliperace, kde na základě tloušťky jednotlivých kožních řas se vypočítá procentuální obsah tuku dle příslušných predikčních rovnic. Používají se různé typy regresních rovnic, které vycházejí z různého počtu kožních řas. Snad nejznámější je výpočet dle

Pařízkové. Negativem je, že tato metoda většinou podhodnocuje skutečnost a to téměř u všech populačních skupin. V zahraničí jsou využívány i jiné typy regresních rovnic, ty berou v úvahu menší počet kožních řas lokalizovaných především v horní části těla. Nejsou však schopny postihnout větší množství podkožního tuku na dolních končetinách, případně gynoidní typ obezity. Často jsou tyto rovnice součástí softwaru digitálních kalibrů.

Závěrem lze konstatovat, že problematika stanovení tuku v těle se dostává do popředí zájmu stále širší veřejnosti i klinických center. Stává se i modní záležitostí. Počet lidí s nadváhou i obézních totiž neustále roste a v neposlední řadě přibývá i těch, kteří se aktivně zabývají svým vzhledem.

9. Literatura

- Ball SD, Attena TS et al., *Comparison of antropometry to DXA: a new prediction equation for men, European Journal of clinical nutrition, 2004*
- Behnke, A. R., Wilmore, J. H., *Evaluation and regulativ of body, build and compasition. New Jersey: Prentice – Hall, Englewood Clifts, 1974, Pg.312-318*
- Brodic D, Moscrip V, Hutcheon R: *Body composition measurment: a review of hydrodensiometry, antropometry, and impedance methods. Nutrition 1998, 14: 296-310*
- Bunc, V., Cimbálek, R., Moravcová, J., Kalous, J., *Možnosti stanovení tělesného složení u dětí bioimpedanční metodou, 2001,102-106*
- Bunc, V. et al., *Estimation of body by multifrekvency bioimpedance measument in children. Ann. N. y. Acad. Sci., 2000, vol. 904, 203-204*
- Demura S, Sato S, *Prediction of visceral fat area at the umbilicus level using fat mass on the trunk: The validity of bioelectrical impedance analysis, Journal of Sports Sciences, 2007, 25(7): 823-825*
- Deurenberg, P., van der Kooy, K., Evers, P., Hutshof., *Assesment of body composition by bioelectrical impedance in a population agend after 60 years. Am. J. Clin. Nutr., 1990, vol.5 1, 3-6*
- Deurenberg., P., Kusters, C., S., L., Smith, H.E. *Assesment of body composition by bioelectrical impedance in children and adults is strongly arge depended. Eur. J. Clin. Nutr., 1990, vol.44, 261-268*
- Drozdová, E. *Panorama biolog. A sociakulturní antropologie. Základy asteometrie. Brno: Masaryková univerzita, 2004, 34-46*
- Durnin JV, Womersley J: *Body fat assesed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurments on 481 men and women aged from 16 to 72 years,Br J. Nutr 1974,77-79*

- *Elis KJ: Human body composition: in vitro methods, Physiol. Rev. 2000,80: 649-680*
- *Erikson, J.-Forsen, T.-Thomilehto, J. et al. Site at birth, fat free mass and rating metabolit rate in odult life. Hormone and metabolit research, 2002, vol.34, No.2, Pg72-76*
- *Fetter, Prokopec, Suchý, Titibachová, Antropologie. Praha: Nakladatelství Academia, 1967, 41-48*
- *Forbes, G. M., Human body composition. New York: Harper and Brothers, 1987*
- *García AL, Wagner K, Hothorn T, Koebrick C., Zunft HJ, Trippo: Improved prediction of body fat by measuring skinfold thicknesses, circumferences and bone breadths, Obes. Res 2005, 13: 626-634*
- *Ghosh, S. et al., Body composition at the beside. The European Journal of Gastroenetrology and hematology, 1997, vol.9, Pg 783-787*
- *Goran MI, Gower et al., Prediction of intra-abdominal and subcutaneous abdominal adipose tissue in healthy pre-pubertal children, International Journal of obesity, 1998*
- *Goran, M. I., Measurment Issues Related to studie of childhood obesity: Assesment of Body composition, Body Fat Distribution, Physical Activity, and Food Intake. Pediatrics, 1998, vol. 101, Pg 505-518*
- *Gregora, M., Výživa malých dětí, Praha: Grada publishing, 2004, 53-57*
- *Hainer, V., Kunešová, M. et al., Obezita-Etiopatogeneze, diagnostika a terapie, Praha:Galén, 1997,s. 126*
- *Hainer, V. a kol., Základy klinické obezitologie 1. Vyd. Praha: Grada publishing, 2004,s. 356*
- <http://www.biospace.cz>

16.4. 2010

➤ <http://www.vyziva.kairos.cz>

14.3. 2010

➤ <http://home.pf.jcu.cz>

2.3. 2010

➤ <http://centrum.prev.sweb.cz/MANUAL/MANII-oddil5html>

19.2.2010

➤ <http://bmi2007.clevis.org>

25.2. 2010

➤ <http://irish1999.tripod.com/bodyfat-composition-techniques.html>

2.3.2010

➤ <http://www.inbody.cz>

19.4. 2010

➤ <http://obezita.org>

15.2. 2010

➤ <http://www.bcm-fresenius.com>

16.4. 2010

➤ <http://www.tigis.cz>

5.12. 2009

➤ <http://www.viviente.cz>

26.1. 2010

➤ <http://www.musclepoint.cz/scripts/jednotlive-slozky.php>

11.2.2010

➤ <http://www.nexars.com/cz/draslik.php>

21.3.2010

➤ Jirka, Z., *Regenerace a sport.*, 1 vyd., Praha Olympia, 1990, 42-48

- Kamel E.G. Et al., *Measurments of abdominal fat by magnetic resonance imaging,dual-energy-X-ray absorptiometra and anthropometry in non-obese men women, International Journal of Obesity, 1999*
- Kokaisl,P., *Základy antropologie, 2004,str.184*
- Koralewski,H.E., Gunga, H.C., Kirsch,K.A., *bioinformatik, Korperzusammensetzung und Energiehaushalt. Berlin:Verlag J. Springer, 2003*
- Kyle US, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P., Elia M., Gomes JM, Heitman BL, Kent-Smith, Meleior J-C, Pirlich M, Scharfetter H., Schools AMWJ? Pichard C: *Bioelectrical impedance analysis-part 2: utilization in clinical pralis., Clin. Nutr. 2004, 1430-1453*
- Lincova D.,Farghali H. a kol.,*Galen 2005,str. 386,387*
- Lukaski, H.C., *Methods for the assesment of human body composition, Traditional and new. Am. J. Clin. Nutr., 1987,vol. 46, 537-556*
- Lullman,H.,Mohr K. a kol.,*Farmakologie a toxikologie, Grada 2004,s. 294*
- Pařízková, J., *Složení těla, metody měření a využití ve výzkumu a lékařské praxi. Med Sport boh Slov, sv. 7(1), 1998, 1-6*
- Pařízková, J., *Rozvoj aktivní hmoty a tuku u dětí a mládeže. Praha: Státní zdravotní nakladatelství, 1962, 25-31*
- Peterson MJ, Czerwinski SA, Siervogel RM: *Development and validation of skinfold thickness prediction equations with a four-compartment model:Am.J.Nutr., 2003,1186-1191*
- Riegrová, J., Přidalová, M., *Evaluation of Body Fat in the view of Anthropometrical Methodologies and Bodystat 500. Acta Universitas Palackinae Olomucensis Gymnica, č.26, 1996,31-34*
- Riegrová,J., Ulbrichová, M., *Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu. Olomouc:Vydavataelství univerzity Palackého, 1998, 78-86*

➤ Rossner, S., *Obesity: the disease of the twenty-first century. International Journal of Obesity*, vol.26, 2002,2-4

➤ Stevens, J., Truesdale, K.P., *Fat distribution. Wildman, Miller, R., B. Sports and Fitness Nutrition, Woodworth, 2004, Pg.509*

➤ Svačina, S. a kol., *Klinická dietologie, Grada 2008, s.23*

➤ Thomas, B.J., Cornish, B.H., Ward, L.C., *Bioelectrical impedance analyses for management of body fluid volumes, a review. J.Clin.Eng.*, vol.17, 1992, Pg. 505

➤ Ulbrichová, M., Přidalová, M., Riegrová J., *Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu, 2006, 43-52*

➤ Vignerová, J., Bláha, P., *Sledování růstu českých dětí a dospívajících. Norma, vyhublost, obezita. Praha: SZU, PřF UK, 2001, 63-69*

➤ www.cyklomania.cz

11.3. 2010

➤ www.hubnutizlin.cz

24.3. 2010

➤ www.nutrivia.cz/bodystat.php

2.1.2010

➤ www.svet-cloveka.com

6.1. 2010