

# Speciální metody vyšetření tělesného složení

## *Body composition analysis*

---

bakalářské studium 2.r., obor nutriční terapeut  
předmět Klinická výživa a dietologie I

Miroslav Tomáška

Interní hematologická a onkologická klinika

LF MU a FN Brno

# Body Mass Index, BMI

ve vztahu k tělesnému složení

- **BMI koreluje s nadbytečnou tukovou hmotou**
  - BMI v pásmu obezity ukazuje na disproporcionální nárůst tukové hmoty ve většině případů, ale ne u všech
  - BMI je také ovlivněno nadbytkem vody v těle
  - vysoké BMI nemusí nutně znamenat nadbytek tuku  
kulturisté, atleti, těhotné ženy
- **BMI je špatným ukazatelem svalové hmoty, bílkovin a netukové hmoty**
- **Metody vyšetření netukové / svalové hmoty jsou potřebné**

# Terminologie

oddílů (komponent, kompartmentů) tělesného složení

---

- **Tuková hmota, FM** (*Fat Mass*)
- **Netuková hmota, FFM** (*Fat Free Mass*)
  - zahrnuje všechno, kromě chemického tuku
- **Měkká netuková hmota, LBM** (*Lean body Mass*)
  - po odečtení kostního minerálu od FFM
- **Svalová hmota, SMM** (*Skeletal Muscle Mass*)
- **Kompartiment bílkovin**
- **Kompartiment minerálních látek**
  - kostní minerál
  - elektrolyty mimo kost

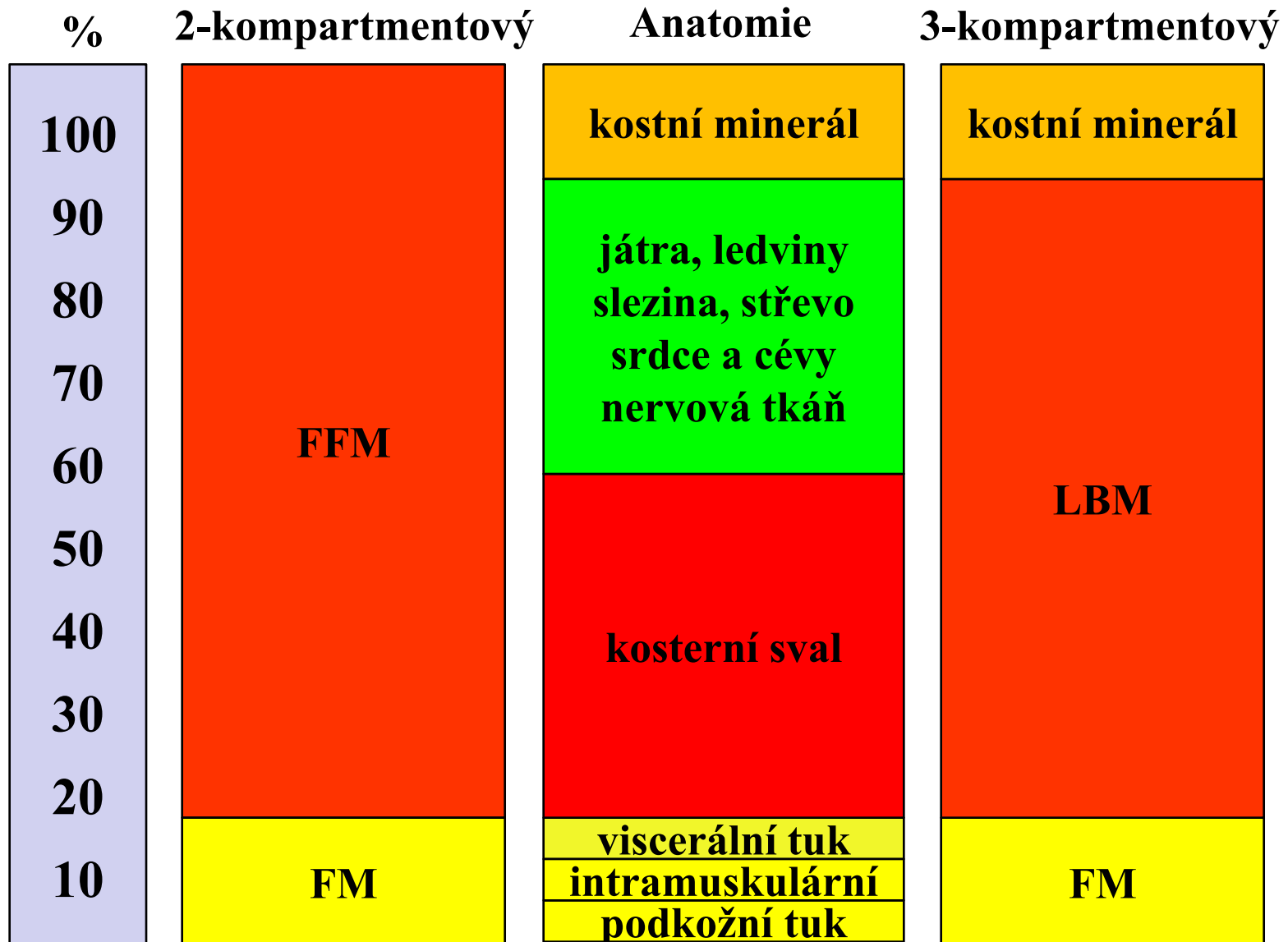
# Terminologie

oddílů (komponent, kompartmentů) tělesného složení

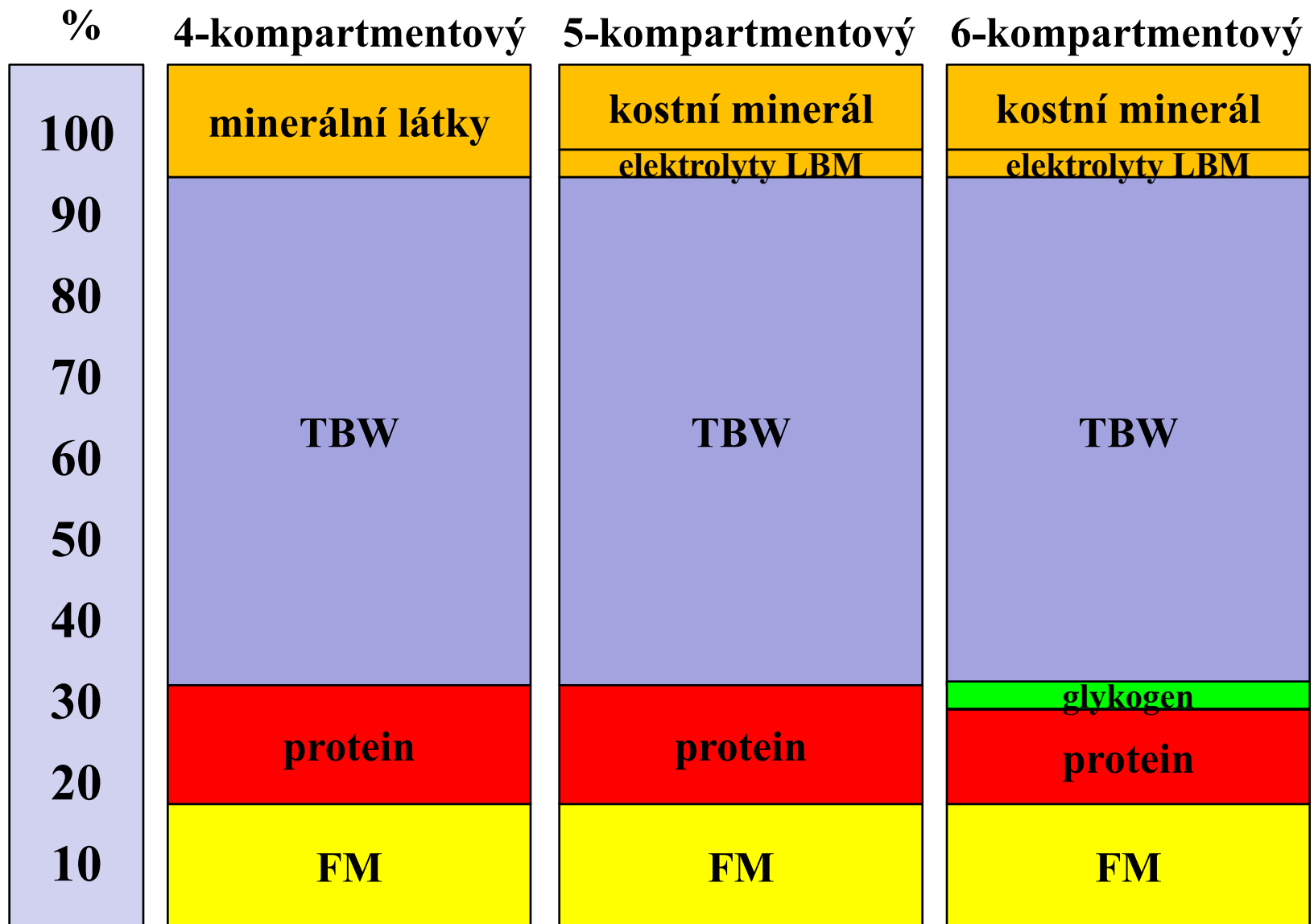
---

- **Celková tělesná voda, TBW** (*Total Body Water*)
- **Mimobuněčná voda, EBW** (*Extracelular Body Water*)
  - tvoří přibližně 1/3 TBW
- **Nitrobuněčná voda, IBW** (*Intracelular Body Water*)
  - tvoří 2/3 TBW
- **Buněčná tělesná hmota, BCM** (*Body Cell Mass*)
  - zahrnuje pouze intracelulární prostor (hmotu)
- **Kompartiment glykogenu**
  - zásobní glykogen v játrech a svalech

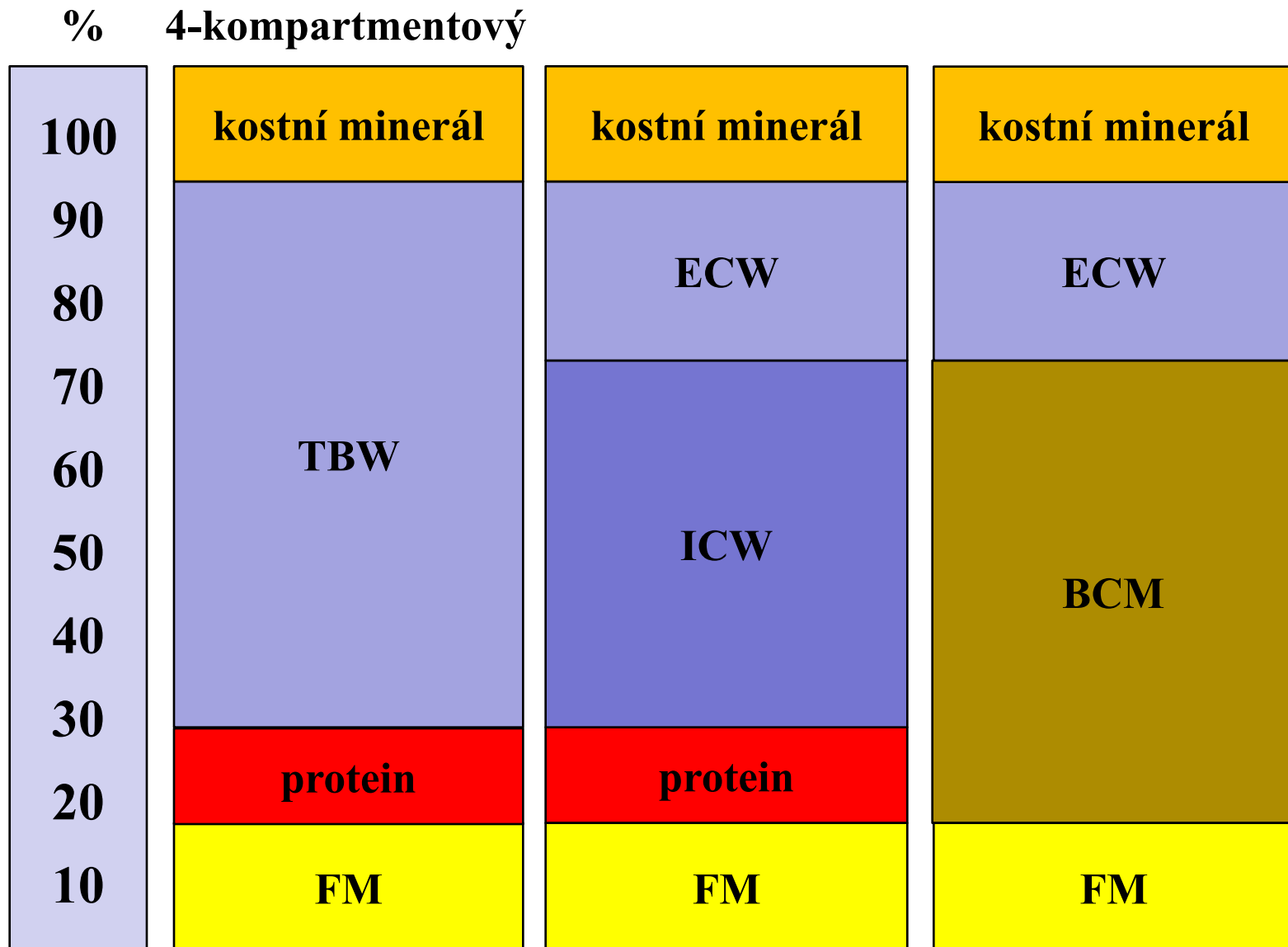
# Dvoukpartmentový (vlevo) a tříkpartmentový (vpravo) model tělesného složení



# Vícekompartmentové modely tělesného složení



# Modely tělesného složení podle vyšetření BIA



# Průměrné hodnoty základních oddílů v těle

orientační hodnoty ve středním věku (k zapamatování)  
značná závislost na pohlaví a věku

- **Obsah vody v těle**
  - muži 60 %, ženy 50-55 % celkové tělesné hmoty
- **Obsah vody v netukové hmotě 73 %**
  - poměr 73 % vody v FFM je poměrně konstantní
  - týká se také svalové hmoty
- **Obsah tuku v těle**
  - muži 10-20 %, ženy 18-28 %
- **Obsah bílkovin v těle**
  - muži 18 % hmotnosti (12 kg u 70kg muže)
- **Obsah minerálních látek v těle**
  - muži 6-7 % hmotnosti (4-5 kg u 70kg muže)



# Průměrný procentuální obsah svalové hmoty

u zdravých jedinců podle věku a pohlaví

<b>Věk</b> <i>roků</i>	<b>Muži</b> %	<b>Ženy</b> %
<b>18-35</b>	<b>40-44</b>	<b>31-33</b>
<b>36-55</b>	<b>36-40</b>	<b>29-31</b>
<b>56-75</b>	<b>32-35</b>	<b>27-30</b>
<b>76-85</b>	<b>&lt; 31</b>	<b>&lt; 26</b>

# Hydrostatické tělesné vážení

hydrodenzitometrie, vážení pod vodou

- **Princip: rozdíly v hustotě tělesných tkání**
  - tělesný tuk  $0,9 \text{ g/cm}^3$
  - netuková hmota  $1,1 \text{ g/cm}^3$
- **Stanovení tělesné hmotnosti na vzduchu a pod vodou**
  - nutná korekce dle objemu vzduchu
  - v plicích 1-2 litry (nutno změřit)
  - ve střevech 100 ml
- **Kalkulace FFM a FM**
  - na základě dvou změřených proměnných

# Bioelektrická impedanční analýza, BIA

## *Bioelectrical Impedance Analysis*

- **Měření odporu, který kladou tělesné tkáně střídavému elektrickému proudu o velmi nízké intenzitě (v řádu  $\mu\text{A}$ )**
  - impedance je opakem vodivosti
- **Tělesná vodivost závisí**
  - na obsahu tělesné vody a elektrolytů ve tkáni
  - objemu vodiče (tkání)
  - poměru mezi tkáněmi s různou vodivostí
  - tuková tkáň je bezvodá a proud vede špatně



# Dvě komponenty odporu při průchodu elektrického proudu tělesnými tkáněmi

přímo měřené hodnoty při BIA

---

## ■ **Rezistence (R)**

- odpor, který kladou tkáně s obsahem vody a elektrolytů
- rezistence je opakem vodivosti tkání

## ■ **Reaktance (XC, kapacitní odpor)**

- přídatný odpor, způsobený kapacitním efektem buněčných membrán
- vyšší reaktance znamená větší počet buněčných membrán a více buněk v těle, tedy lepší nutriční stav

# Princip přepočtu impedance na FFM a FM

dle předpokladu konstantního obsahu vody ve FFM

## ■ Jednofrekvenční vyšetření (50 kHz)

- proud prochází přes ECW i ICW, takže lze změřit celotělovou vodu TBW
- FFM se vypočítá z předpokladu, že FFM obsahuje všechnu vodu v těle a ta tvoří 73 % FFM

$$\text{FFM} = \text{TBW} / 0,732$$

- následně  $\text{FM} = \text{BW} - \text{FFM}$

## ■ Multifrekvenční vyšetření (1-1300 kHz)

- při nízké frekvenci  $\leq 5$  kHz jde proud jen přes ECW
- při vysoké frekvenci  $\geq 50$  kHz jde přes ECW i ICW
- analýza rozliší ECW a ICW

# Buněčná tělesná hmota, BCM

je metabolicky aktivní kompartment

- **Software BIA kalkuluje BCM z hodnoty ICW**
- **BCM obsahuje podstatnou část celotělového obsahu bílkovin**
  - BCM tvoří dominantní část metabolicky aktivní hmoty
  - dobře koresponduje s množstvím kosterního svalstva
  - snížená BCM je ukazatelem malnutrice
- **BCM tvoří 40 % hmotnosti zdravého jedince**
- **$BCMI = BCM / (\text{výška v m})^2$** 
  - normální hodnoty    muži 8,4-12,8 kg/m<sup>2</sup>  
                              ženy 6,4-10,0 kg/m<sup>2</sup>

# Množství svalové hmoty v těle dle BIA

není změřeno přímo, ale zjištěno pouze výpočtem

- **Celotělová BIA z principu nemůže měřit svalovou hmotu, SMM**
  - rozlišuje jen kompartmenty FFM a FM
- **SMM je pouze vypočítána ze změřených odporů tkání pomocí regresních rovnic**
  - regionální změření FFM všech čtyř končetin
  - svaly končetin tvoří ~ 75 % SMM
- **Existuje velké množství regresních rovnic pro různé skupiny pacientů**
  - podle věku, typu choroby
  - obvykle není znám typ rovnic v software přístroje

# Technické provedení BIA

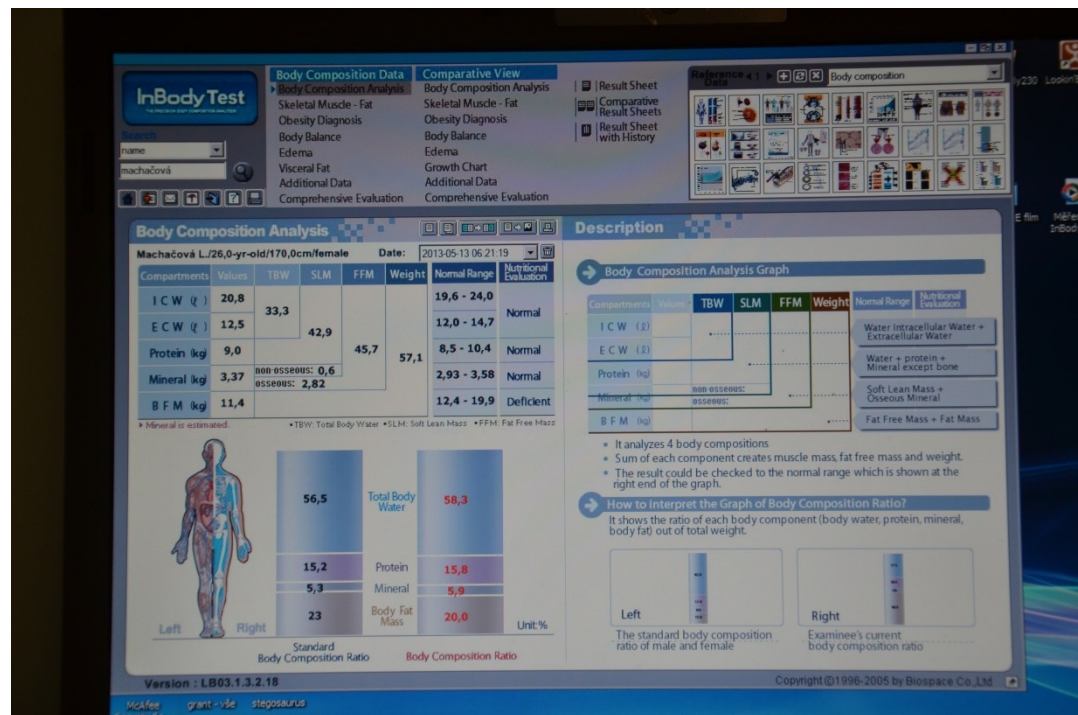
různé typy přístrojů a podmínky měření

- **Druhy přístrojů a elektrod**
  - nepřenosné, pojízdné, přenosné
  - elektrody nalepovací nebo dotykové
  - měření vstoje, v sedě, vleže
- **Podmínky měření z hlediska pacienta**
  - minimální nebo žádný příjem tekutin 2-4 h předem
  - minimální nebo žádný příjem stravy předem
  - bez fyzické námahy, necvičit 2-4 h předem
  - fyzický klid v sedě 30 min. před vyšetřením
- **Vliv otoků a retence tekutin je výraznější, než vliv malého příjmu stravy/tekutin**



# Bioelektrická impedanční analýza

## přístroj InBody 230 (kontakt tvoří 8 elektrod)



Je třeba zadat přesné hodnoty aktuální hmotnosti a tělesné výšky  
Pacient má kontakt s 8 elektrodami  
Vlastní vyšetření vstojí 30 sec.

# Fázový úhel při vyšetření BIA

*PA, Phase Angle*

- **Je grafickým vyjádřením zpoždění proudu při průchodu buněčnými membránami**
  - časové zpoždění je vyjádřeno pomocí úhlu
  - vyjadřuje vztah mezi rezistencí a reaktancí
- **Má výhodu přímo měřené veličiny**
  - nepotřebuje žádné rovnice pro přepočet
- **Normální hodnoty závisí na věku a pohlaví**
  - PA u zdravých jedinců 6-9°
  - vyšší PA ► větší BCM (více buněčných membrán)
- **Fázový úhel je prognostickým ukazatelem**
  - nízké hodnoty znamenají horší prognózu

# Normální a hraniční hodnoty fázového úhlu

podle věku a pohlaví (5.percentil odpovídá těžkému snížení)

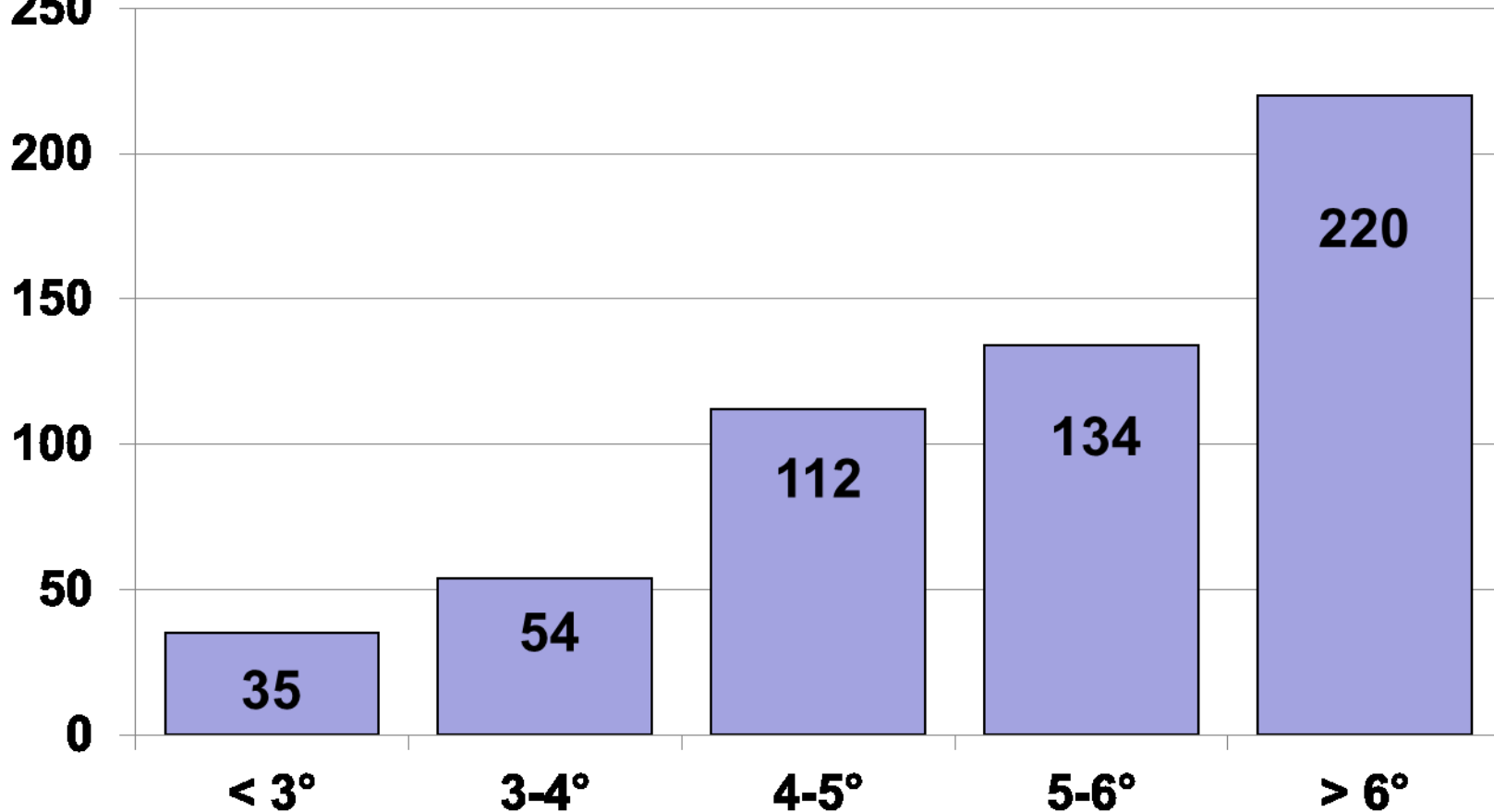
Věk roky	Muži		Ženy	
	<i>průměr</i>	<i>5.percentil</i>	<i>průměr</i>	<i>5.percentil</i>
<b>20-29</b>	<b>6,89</b>	<b>5,79</b>	<b>5,98</b>	<b>5,01</b>
<b>30-39</b>	<b>6,66</b>	<b>5,53</b>	<b>6,03</b>	<b>5,07</b>
<b>40-49</b>	<b>6,46</b>	<b>5,41</b>	<b>5,96</b>	<b>4,98</b>
<b>50-59</b>	<b>6,24</b>	<b>5,23</b>	<b>5,73</b>	<b>4,74</b>
<b>60-69</b>	<b>5,77</b>	<b>4,23</b>	<b>5,51</b>	<b>4,41</b>
<b>&gt; 70</b>	<b>5,11</b>	<b>3,82</b>	<b>5,12</b>	<b>3,85</b>

# Přežívání pacientů s pokročilým nádorovým onemocněním podle fázového úhlu dle BIA

celkové přežívání ve dnech od vyšetření

n=222

Dnů  
250



# Bioimpedanční vektorová analýza, BIVA

grafické vyjádření vektoru elektrické impedance

- **Používá přímo měřené hodnoty R a XC**
  - v grafu jsou hodnoty R na ose x, XC na ose y
  - vektor impedance má směr daný fázovým úhlem
  - BIVA analyzuje množství tekutin v měkkých tkáních
- **Umožňuje zhodnotit stav hydratace**
  - nezávisle na předpokladu 73 % vody v FFM
- **BIVA u hemodialyzovaných pacientů**
  - ukazuje stav hydratace i při extrémní akumulaci tekutin
  - je možno zachytit i změny obsahu tekutin < 500 ml



# Problémy v hodnocení tělesného složení pomocí BIA

---

- **Výsledky závisí na stavu hydratace**
  - na osmolaritě a iontovém složení tělesných tekutin
  - hodnocení není spolehlivé při abnormální hydrataci
- **Nejistý předpoklad 73 % vody ve FFM**
  - ve skutečnosti FFM obsahuje 69-75 % vody
  - u nemocných je rozptyl ještě o něco větší
- **Zásadní je typ použité regresní rovnice**
  - výpočet SMM, LBM, BCM nemusí být spolehlivý
- **Větší spolehlivost přímo měřených hodnot**
  - fázový úhel (adjustovaný na věk a pohlaví)



# Spolehlivost vyšetření BIA je omezená

zatím není rutinní metodou hodnocení tělesného složení při onemocnění

---

- **BIA je spolehlivá při populačním šetření velké skupiny zdravých jedinců**
  - průměrné populační hodnoty jsou velmi přesné
- **Je užitečná u jednotlivců, pokud nemají abnormální tělesné složení**
  - je užitečná i u lehké a středně těžké obezity
- **Spolehlivost klesá při závažném onemocnění**
  - zvláště nespolehlivá je v intenzivní péči
  - značně zkreslující je retence tekutin (otoky, výpotky)
  - v onkologii je do FFM zahrnuta i hmota metastáz

# Interpretace hodnot naměřených BIA

vyjádření pomocí indexů ke srovnání s normou

---

- **Srovnání absolutních hodnot s tabulkovými je složité a nevyhovuje praxi**
  - lepší je vyjádření v podobě indexu ve vztahu k výšce
- **Indexy se tvoří analogicky jako BMI**
  - vztah k druhé mocnině výšky v metrech
- **Chybí však spolehlivé normální hodnoty**
  - v závislosti na pohlaví a věku



# Hraniční hodnoty indexů BIA pro malnutrici

hrubé orientační hodnoty pro nemocné středního věku  
vlastní zaokrouhlené zjednodušené hodnoty

Parametr		Muži	Ženy
<b>FFMI</b>	<i>kg/m<sup>2</sup></i>	<b>18,0</b>	<b>15,5</b>
<b>FMI</b>	<i>kg/m<sup>2</sup></i>	<b>2,5</b>	<b>4,5</b>
<b>LBMI</b>	<i>kg/m<sup>2</sup></i>	<b>16,0</b>	<b>14,0</b>
<b>SMMI</b>	<i>kg/m<sup>2</sup></i>	<b>8,0</b>	<b>6,0</b>
<b>BCMI</b>	<i>kg/m<sup>2</sup></i>	<b>10,0</b>	<b>8,0</b>

# Absorpce rentgenového záření dvojí energie

*Dual-Energy X-ray Absorptiometry*

DEXA nebo DXA, princip metody

- **Oslabení rtg záření při průchodu tkáněmi**
  - záření o nízké energii je zeslabeno více
  - záření o vysoké energii je zeslabeno méně
- **Poměr zeslabení záření o nízké energii fotonů proti záření vyšší energie = R**
- **Jednotlivé tkáně mají svůj poměr R**
  - tuková tkáň 1,2
  - netuková měkká tkáň 1,4
  - kostní minerál 2,86

# Předpoklady pro hodnocení svalové hmoty

pomocí DXA

- **Regionální DXA měření na končetině**
  - anatomicky: kůže + sval + kost + tuková tkáň
  - DXA: skelet + tuk + měkká netuková hmota
- **Svaly končetin tvoří 75% celotělových svalů**
  - svalstvo trupu, krku a hlavy tvoří zbylých 25 %
- **Kostní minerál tvoří 28% hmoty skeletu**
- **Postup při kalkulaci měkké netukové hmoty**
  - nejprve je kalkulována hmota skeletu
  - zbylá tkáň je podle R rozdělena mezi FM a LBM





# Výhody DXA denzitometrie tělesného složení

---

- **Relativně vysoká přesnost**
- **Vysoká reprodukovatelnost**
- **Možnost regionálního měření**
  - zvláště vyšetření končetin, trupu, břicha
- **Minimální zátěž nemocného**
  - neinvazivní vyšetření
  - nízká radiační zátěž
- **Rutinně používána k vyšetření kostí při osteoporóze**
  - pod označením denzitometrie skeletu



## Nevýhody DXA denzitometrie tělesného složení

---

- **Pro vyšetření tělesného složení je nutný speciální software**
- **Není ověřenou metodou pro praxi**
  - s výjimkou měření kostní denzity
- **Nelze vyšetřit nemocného na lůžku**
  - vyšetření pouze na radiologickém oddělení
- **Výsledek ovlivněn hydratací pacienta**
- **Méně přesné u obézních jedinců**
- **Obtíže s měřením vysokých jedinců**



# Diagnóza sarkopenie pomocí DXA

spolehlivá referenční metoda

---

## Index kosterního svalu končetin

*Appendicular Skeletal Muscle Index, ASMI*

### Hraniční hodnoty ASMI pro sarkopenii

muži 7,26 kg/m<sup>2</sup>

ženy 5,45 kg/m<sup>2</sup>

V klinických studiích spolehlivá referenční metoda  
pro vyšetření svalové hmoty

# Výsledky měření tělesného složení podle DXA denzitometrie

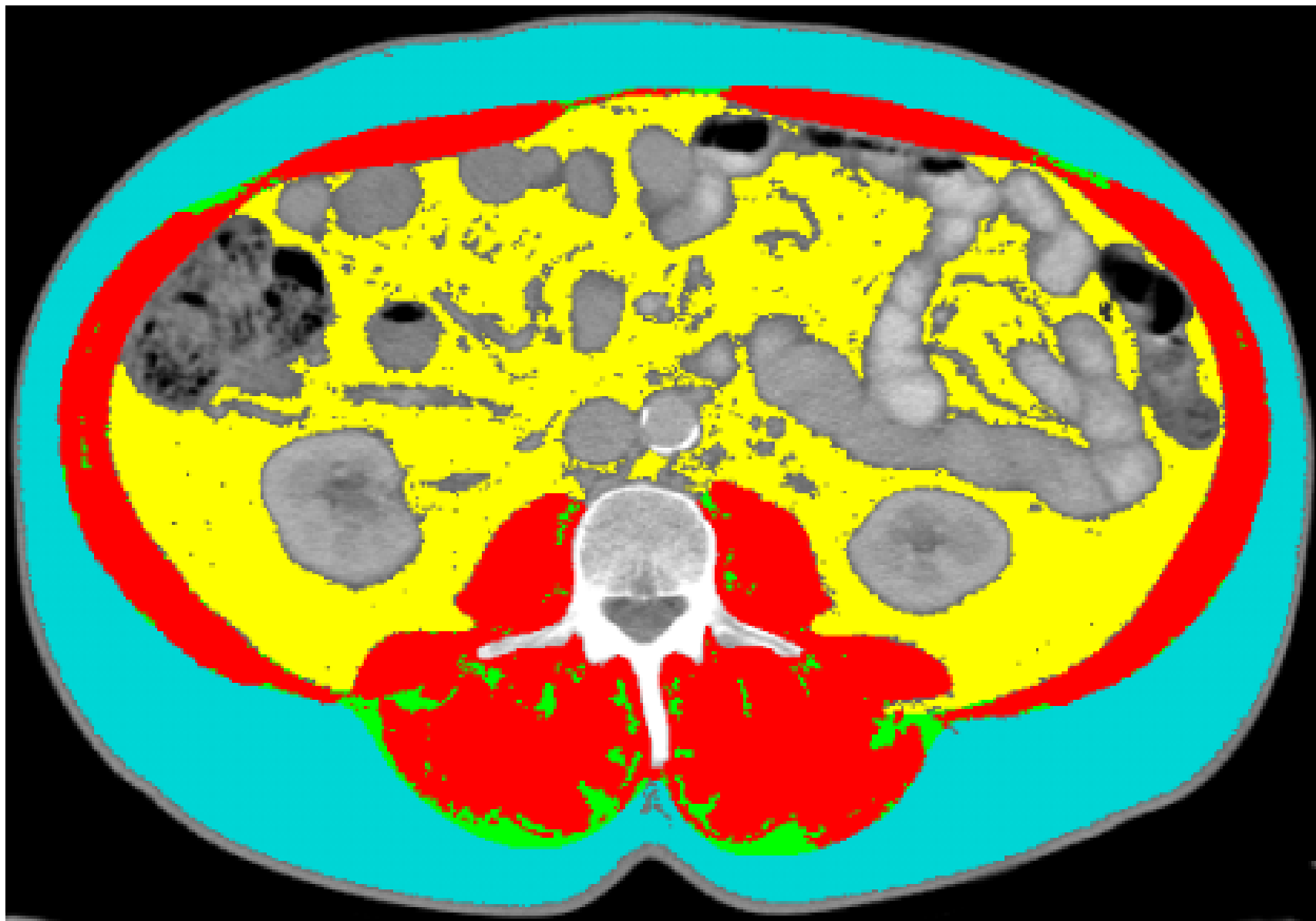
závisí na typu přístroje a jeho software

---

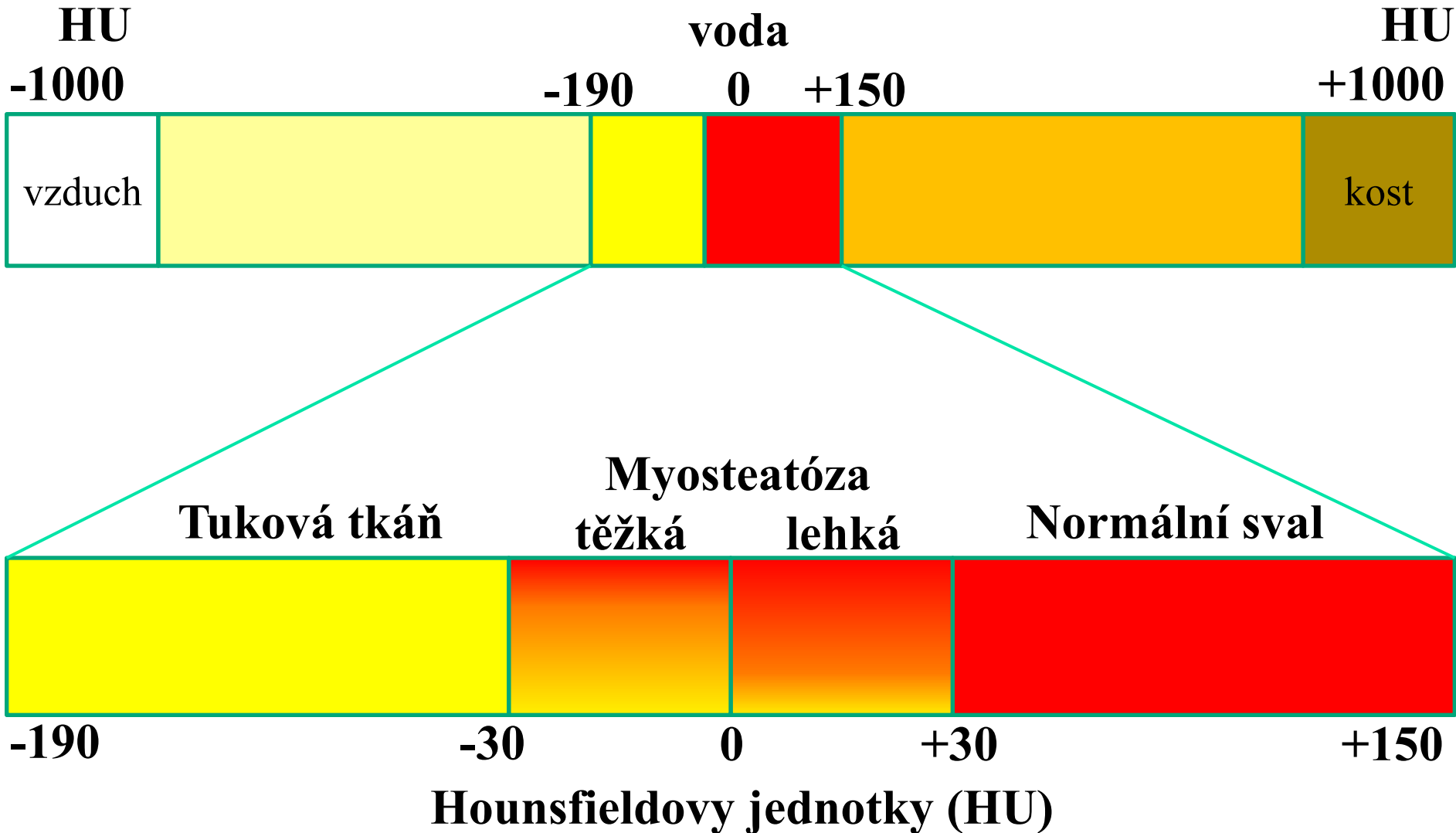
- **Software využívá různé předpoklady a regresní rovnice**
- **Kontrolní vyšetření vyžadují měřit na tomtéž přístroji**
- **Nejčastější typy přístrojů**
  - Hologic
  - Lunar
  - Norland



# Zobrazení svalu a tuku na CT řezu ve výši L3 pomocí speciálního software



# Princip měření svalové a tukové hmoty pomocí CT vyšetření



# Výhody CT vyšetření tělesného složení v úrovni bederního obratle L3

zobrazení plochy tkání na řezu

- **Svalová hmota**

- paravertebrální a břišní svaly

- **Podkožní tuk**

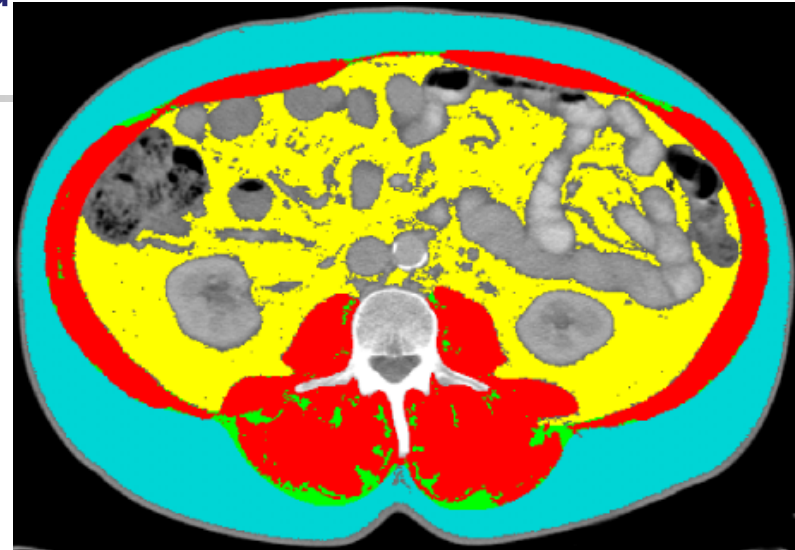
- reprezentuje zásobní energii

- **Viscerální tuk**

- reprezentuje metabolicky více aktivní tukovou tkáň
- reflektuje abdominální obezitu

- **Tuk infiltrovaný do svalové tkáně**

- intra- a intermyocytární tuk
- méně kvalitní svalová hmota



# Lumbální svalový index dle CT vyšetření

*Lumbar Skeletal Muscle Index, LSMI*  
vztahuje plochu svalů na (výšku v m)<sup>2</sup>

## Hraniční hodnoty pro sarkopenii

**Muži > 55 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>**

**Ženy > 39 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>**

Plocha svalů na CT řezu L3  
koreluje s celotělovou svalovou hmotnou  
Je možný přepočítání na SMM v kg

# Wyšetření tělesného složení pomocí nukleární magnetické rezonance

MRI, *Magnetic Resonance Imaging*

- **Měření svalové hmoty a tukové hmoty**
  - je validovanou spolehlivou metodou
  - zatím však pouze pro výzkum
- **Celotělové měření je časově i finančně nákladné a nehodí se pro praxi**
- **Regionální měření by v praxi bylo možné**
  - vyšetřeni svalstva v oblasti stehna
  - vyšetřeni svalu a tuku v úrovni břicha (jako u CT)



# Zobrazení svalové hmoty pomocí MRI

## v oblasti stehna

---

- **Měření musculus quadriceps na stehně**
  - přibližně 40 příčných MRI řezů po 10 mm
  - doba vyšetření 6 min.
  - manuální zarámování obrazu svalu (malá chyba)
  - přepočítání na objem svalu stehna
- **Umožňuje rozlišit tuk ve svalové hmotě**
  - je možné změřit kontraktilní část svalu
- **Regionální měření jedné svalové skupiny**
  - objem extenzorů stehna je pak možno srovnat s funkcí stejné svalové skupiny



---

**Konec přednášky**