

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



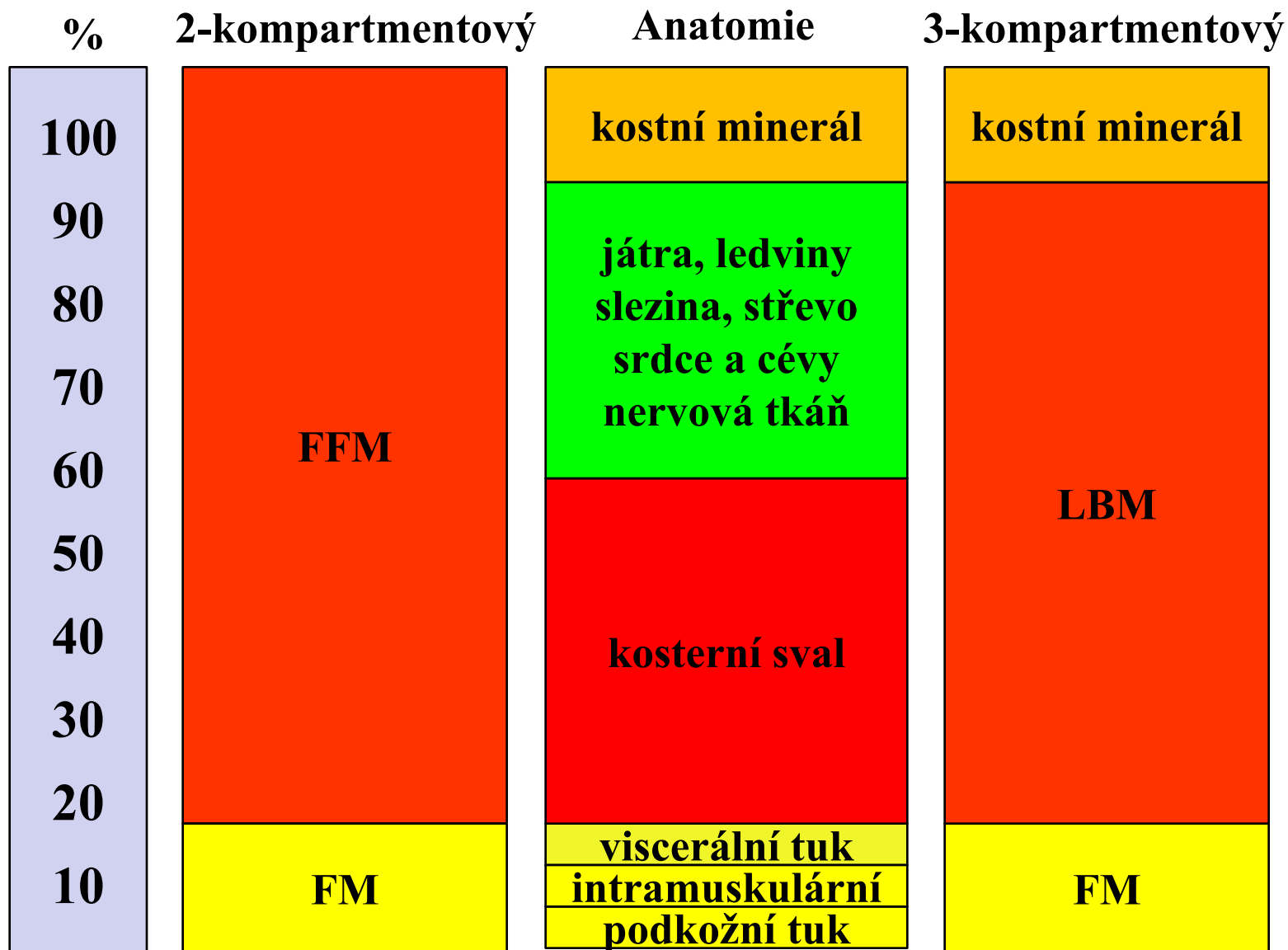
Terminologie

oddílů (komponent, kompartmentů) tělesného složení

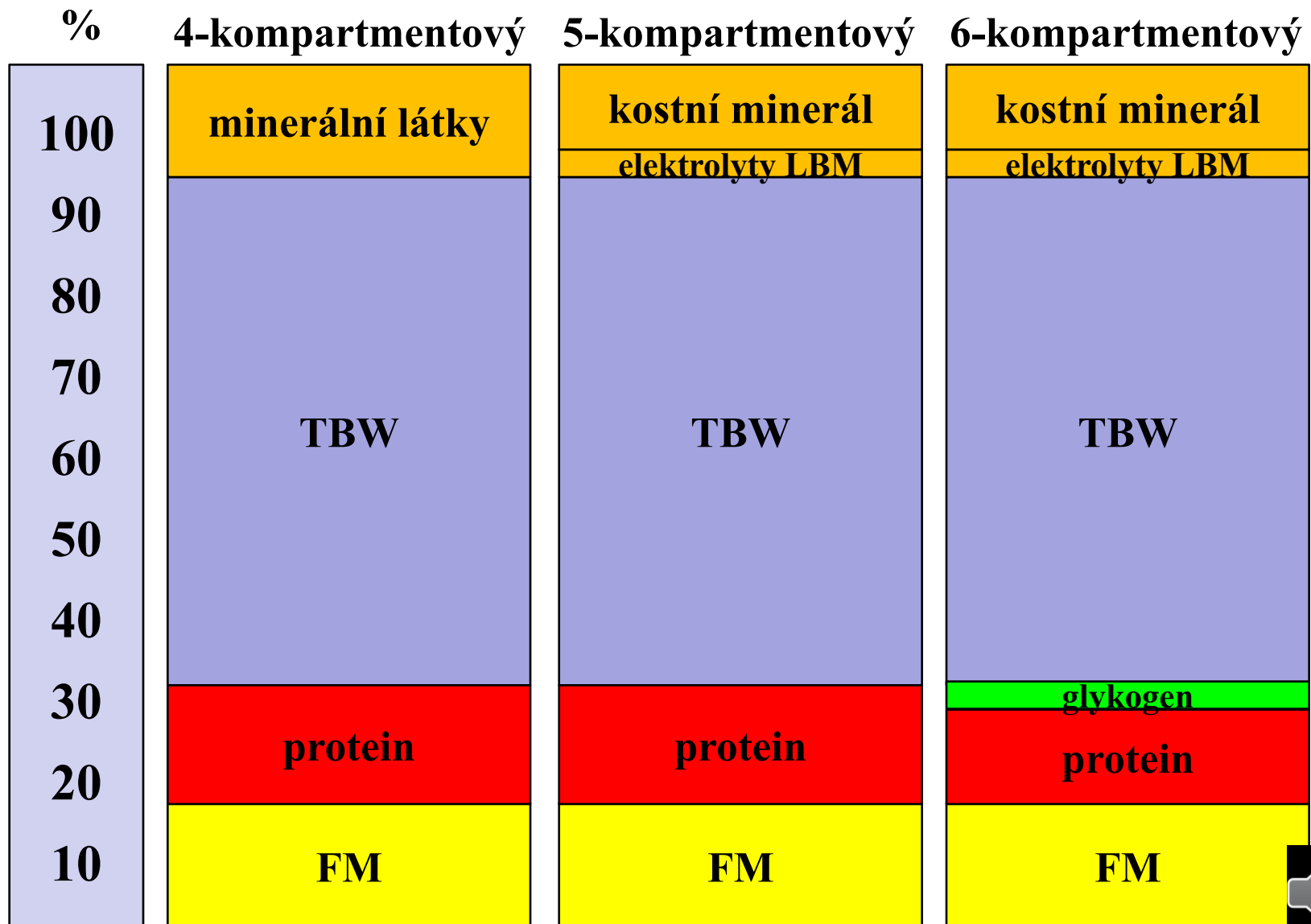
- **Celková tělesná voda, TBW** (*Total Body Water*)
- **Mimobuněčná voda, EBW** (*Extracelular Body Water*)
 - tvoří přibližně 1/3 TBW
- **Nitrobuněčná voda, IBW** (*Intracelular Body Water*)
 - tvoří 2/3 TBW
- **Buněčná tělesná hmota, BCM** (*Body Cell Mass*)
 - zahrnuje pouze intracelulární prostor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



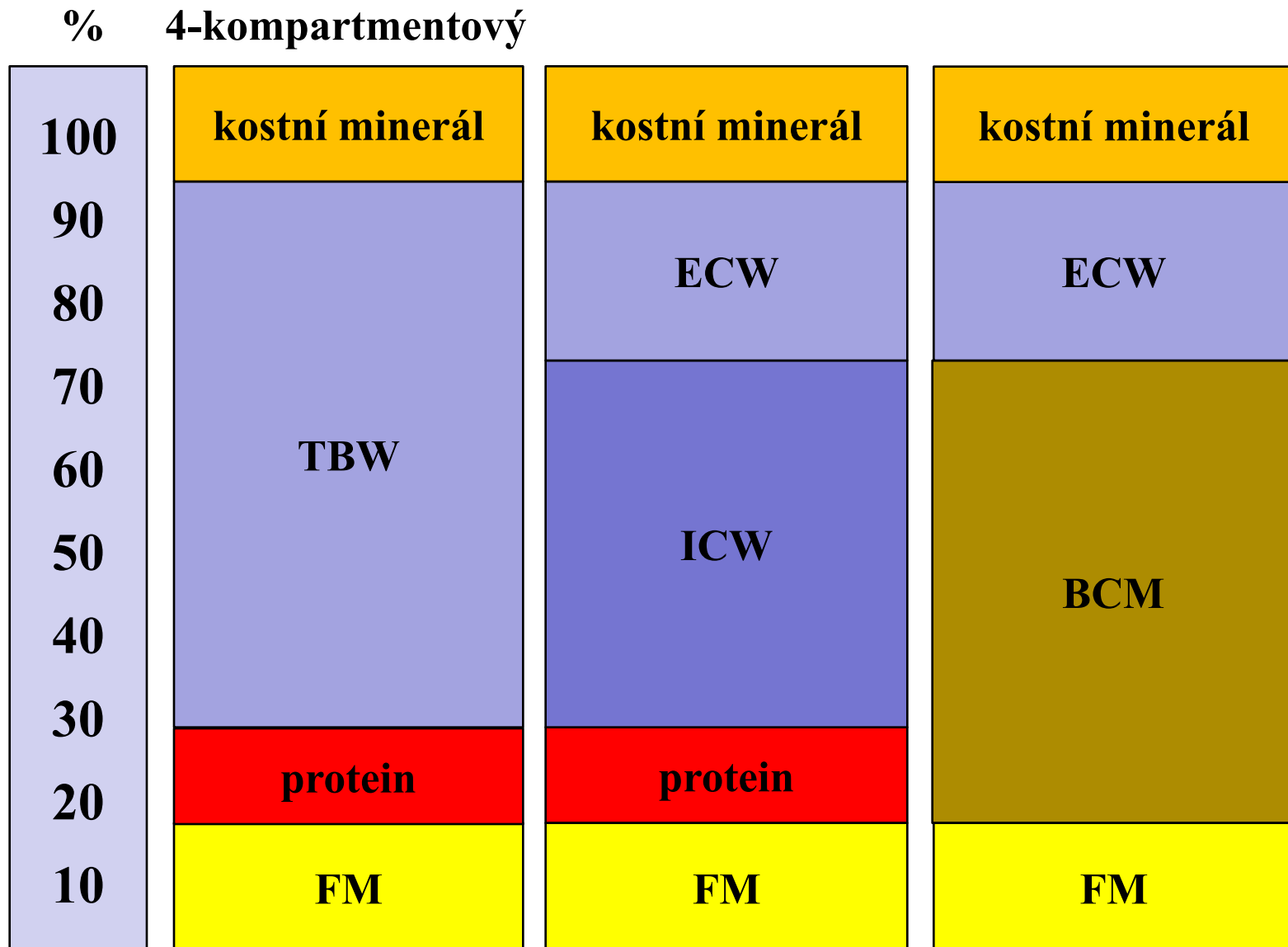
Dvoukpartmentový (vlevo) a tříkpartmentový (vpravo) model tělesného složení



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

Věk roků	Muži %	Ženy %
18-35	40-44	31-33
36-55	36-40	29-31
56-75	32-35	27-30
76-85	< 31	< 26



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 μA)**
 - 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 ≤ 5 kHz jde proud jen přes ECW
- při vysoké frekvenci ≥ 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/m²
 ženy 6,4-10,0 kg/m²



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

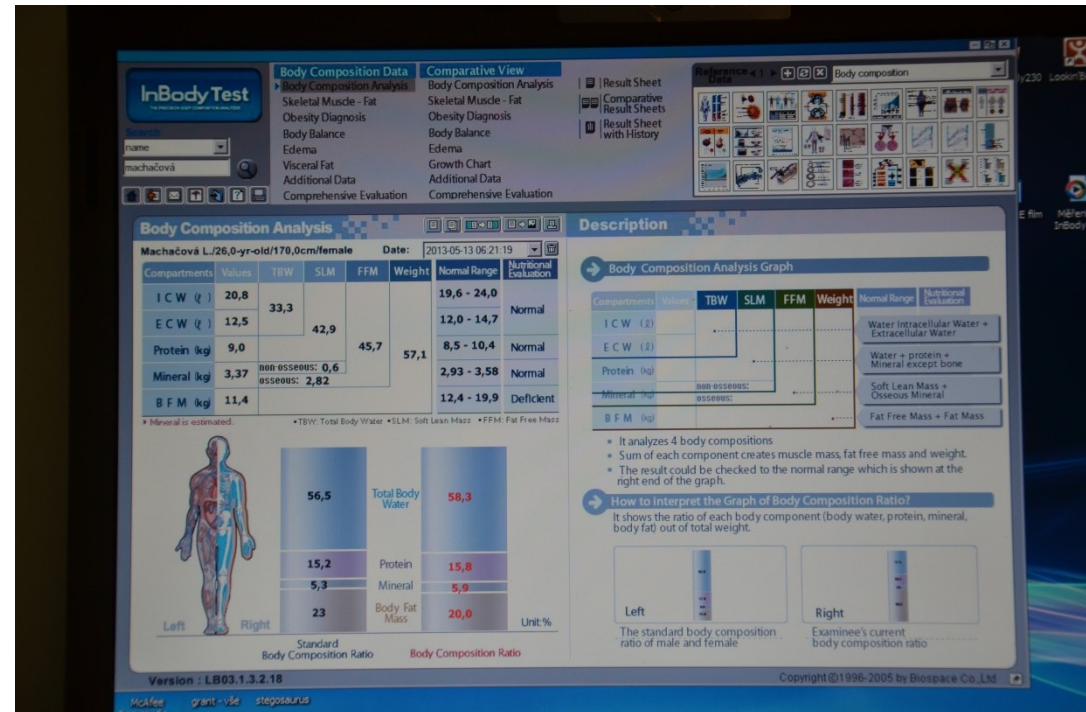
různé typy přístrojů a podmínky měření

- **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>
20-29	6,89	5,79	5,98	5,01
30-39	6,66	5,53	6,03	5,07
40-49	6,46	5,41	5,96	4,98
50-59	6,24	5,23	5,73	4,74
60-69	5,77	4,23	5,51	4,41
> 70	5,11	3,82	5,12	3,85

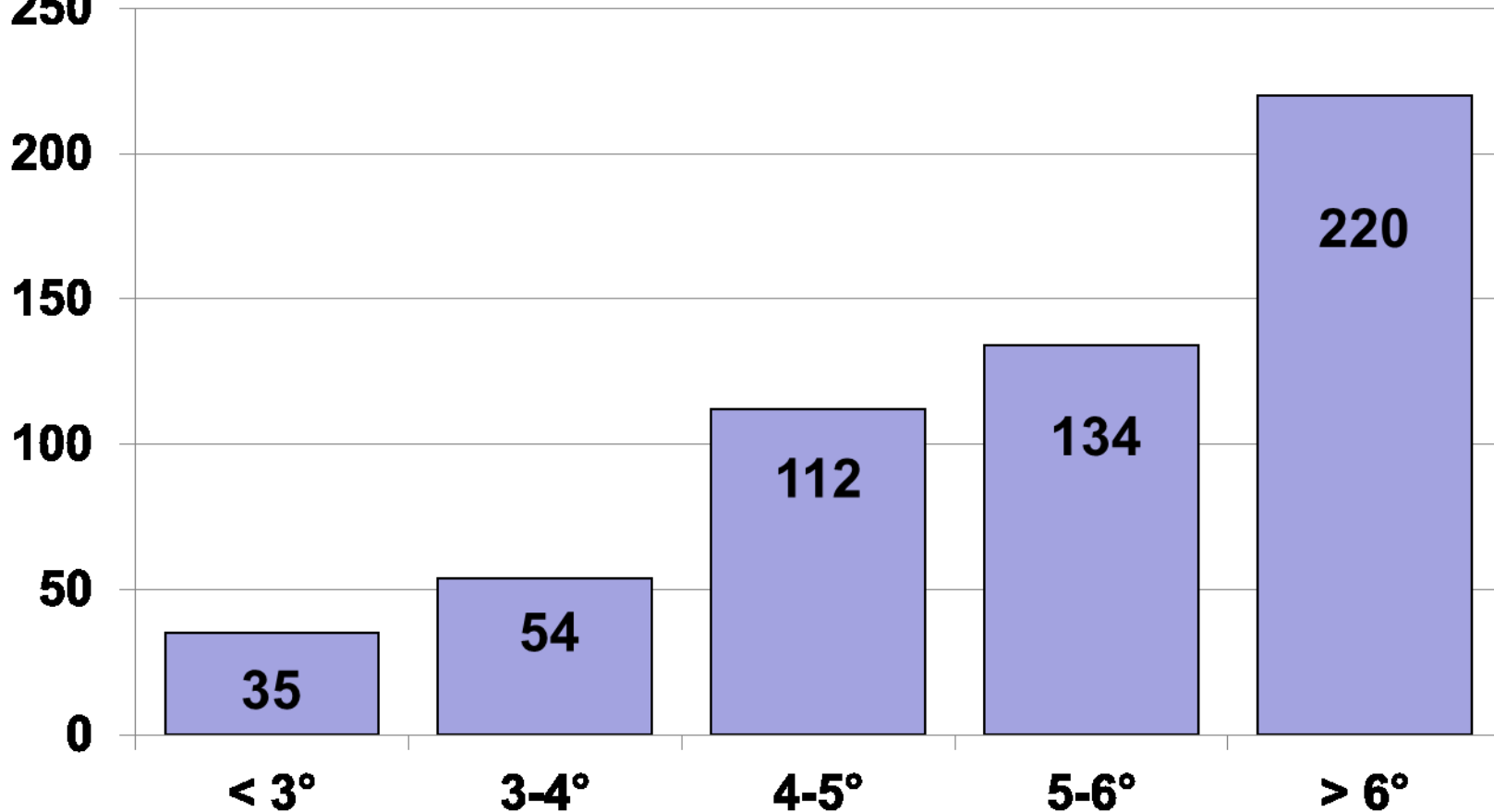


Přežívání pacientů s pokročilým nádorovým onemocněním podle fázového úhlu dle BIA

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
FFMI	<i>kg/m²</i>	18,0	15,5
FMI	<i>kg/m²</i>	2,5	4,5
LBMI	<i>kg/m²</i>	16,0	14,0
SMMI	<i>kg/m²</i>	8,0	6,0
BCMI	<i>kg/m²</i>	10,0	8,0



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



Předpoklady pro hodnocení svalové hmoty

pomocí DXA

- **Obsah chemického tuku ve tkáních:**
 - tuková tkáň 90 %
 - kost 19 %
 - kůže 10 %
- **Kalkulace hmotnosti kůže**
 - plocha kůže horní končetiny 9% povrchu těla
 - plocha kůže dolní končetiny 18% povrchu těla
 - tloušťka kůže muži 0,156 cm
ženy 0,120 cm
 - je známa měrná hmotnost kůže



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/m²

ženy 5,45 kg/m²

V klinických studiích spolehlivá referenční metoda
pro vyšetření svalové hmoty



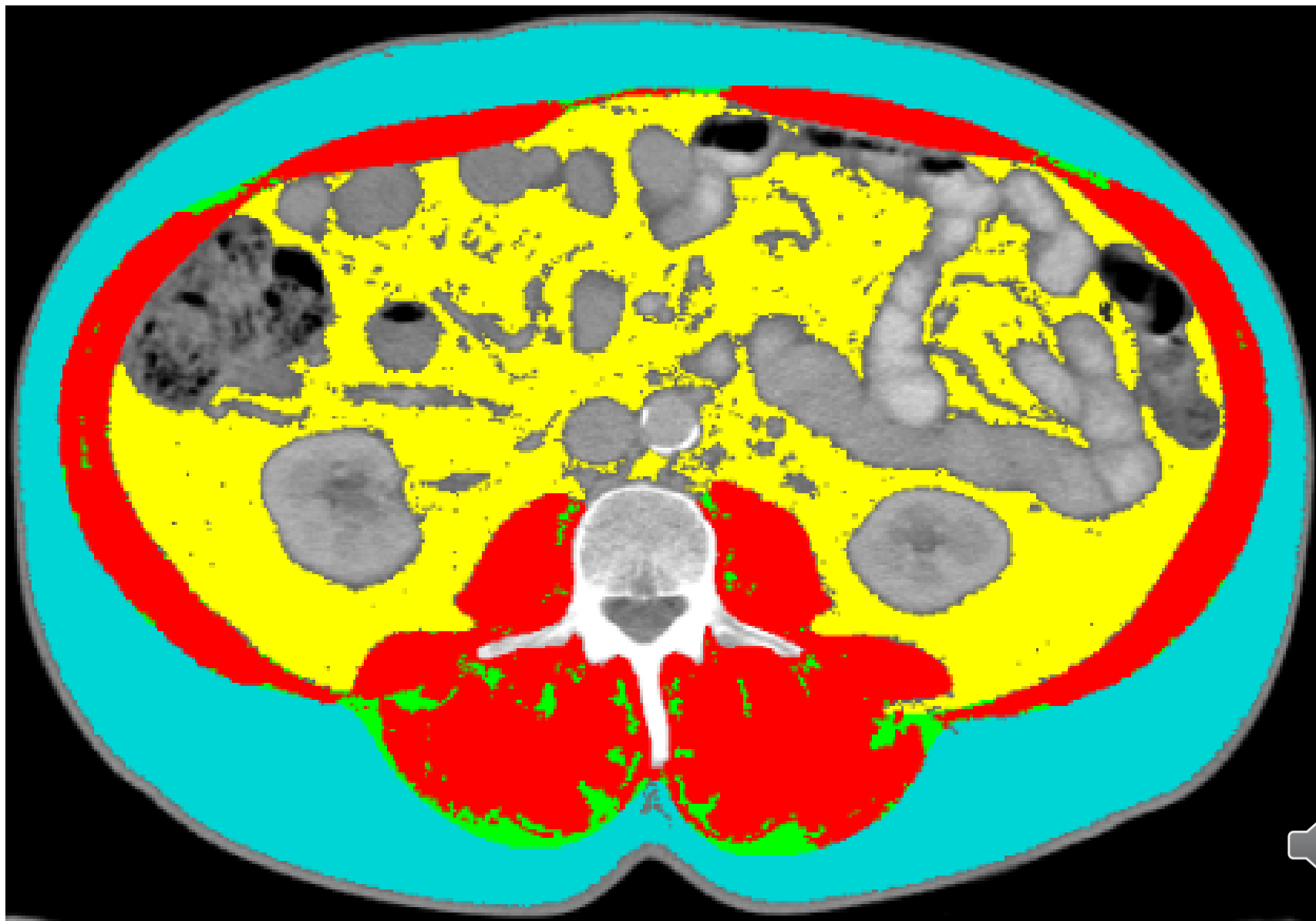
Výsledky měření tělesného složení podle DXA denzitometrie

závisí na typu přístroje a jeho software

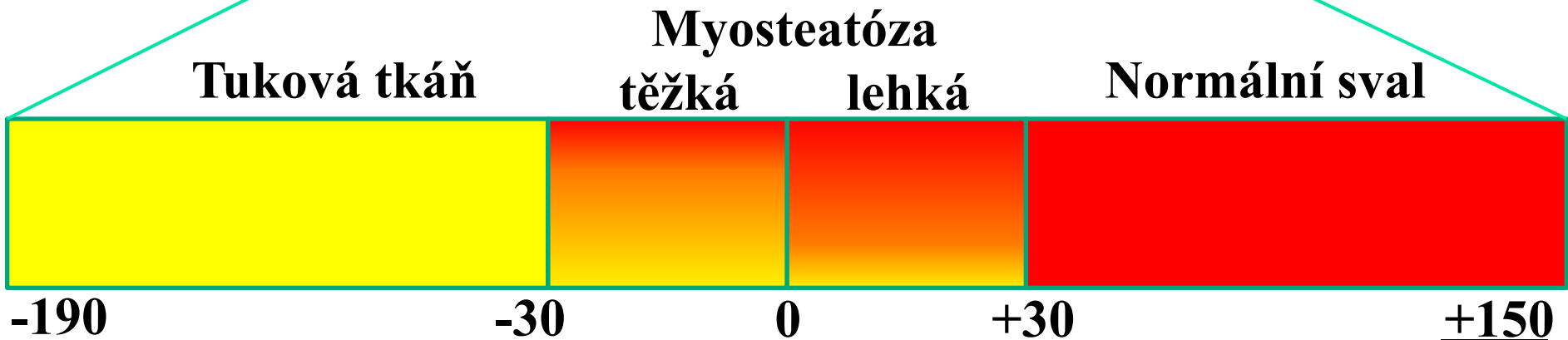
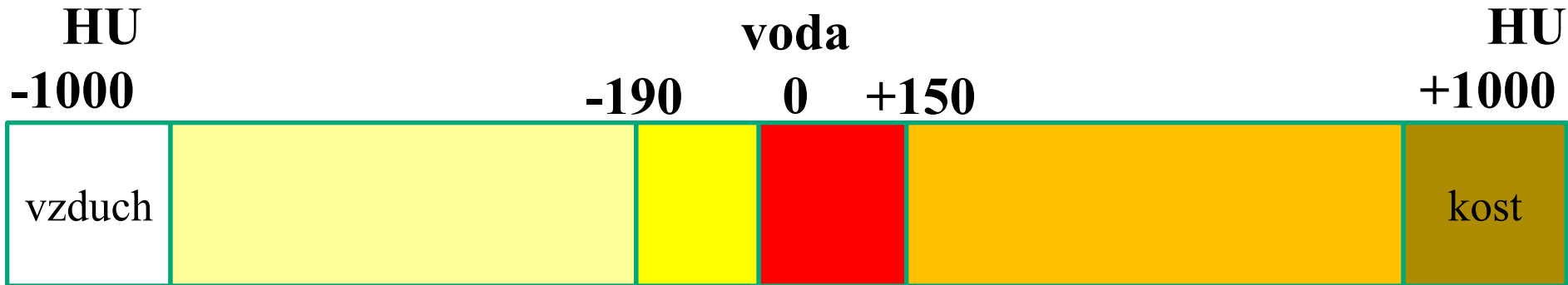
- **Software využívá různé předpoklady a regresní rovnice**
- **Kontrolní vyšetření vyžadují měřit na tomtéž přístroji**
- **Nejčastější typy přístrojů**
 - Hologic
 - Lunar
 - Norland



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



Princip měření svalové a tukové hmoty pomocí CT vyšetření



Hounsfieldovy jednotky (HU)



Výhody CT vyšetření tělesného složení v úrovni bederního obratle L3

zobrazení plochy tkání na řezu

- **Svalová hmota**

- paravertebrální a břišní svaly

- **Podkožní tuk**

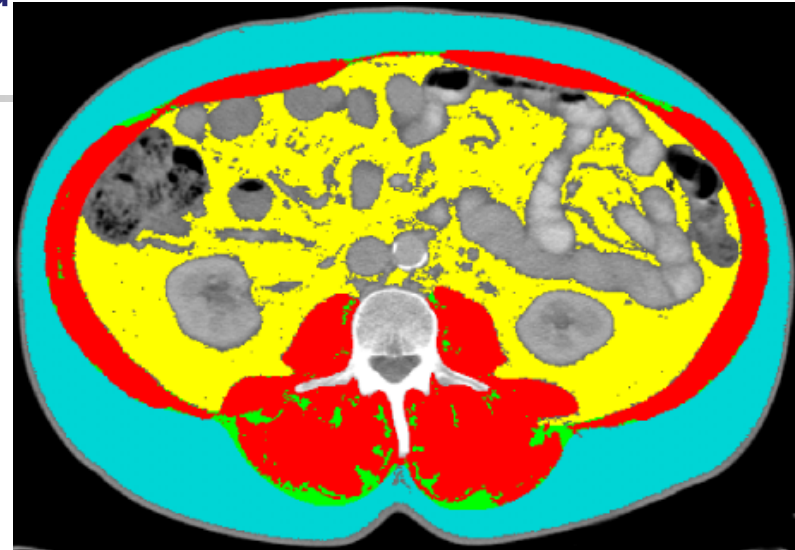
- reprezentuje zásobní energii

- **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)²

Hraniční hodnoty pro sarkopenii

Muži > 55 cm²/m²

Ženy > 39 cm²/m²

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



Vyšetření 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**
 - vyšetření svalstva v oblasti stehna
 - vyšetření 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)
 - přepoččet na objem svalu stehna
- **Umožňuje rozlišit tuk ve svalové hmotě**
 - je možné změření kontraktilní části svalu
- **Regionální měření jedné svalové skupiny**
 - objem extenzorů stehna je pak možno srovnat s funkcí stejné svalové skupiny





Konec přednášky

