

**Concept clinic pentru
diagnosticul osteoporozei
bazat pe unitatea musculară
osoasă**

Harald Schubert, Pforzheim, Germany

Rezumat despre densitatea osoasă și diagnosticul osos

'Bone densitometry, with its misleading and often frankly erroneous terminology and units, has encouraged physicians to make diagnostic and therapeutic decisions on the basis of an abstract set of numbers that are completely divorced from the underlying structural reality...'

A.M. Parfitt, JBMR 1998

In prezent, cel mai des utilizat în domeniul clinic:

Măsurarea densității osoase folosind DEXA

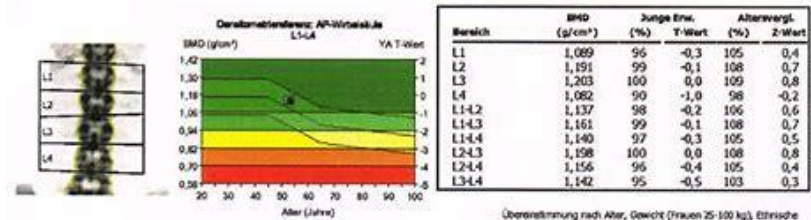


Bild nicht für Diagnosezwecke

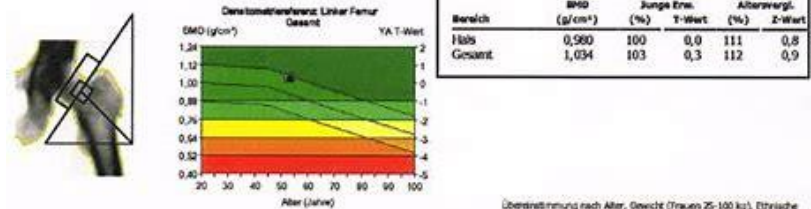
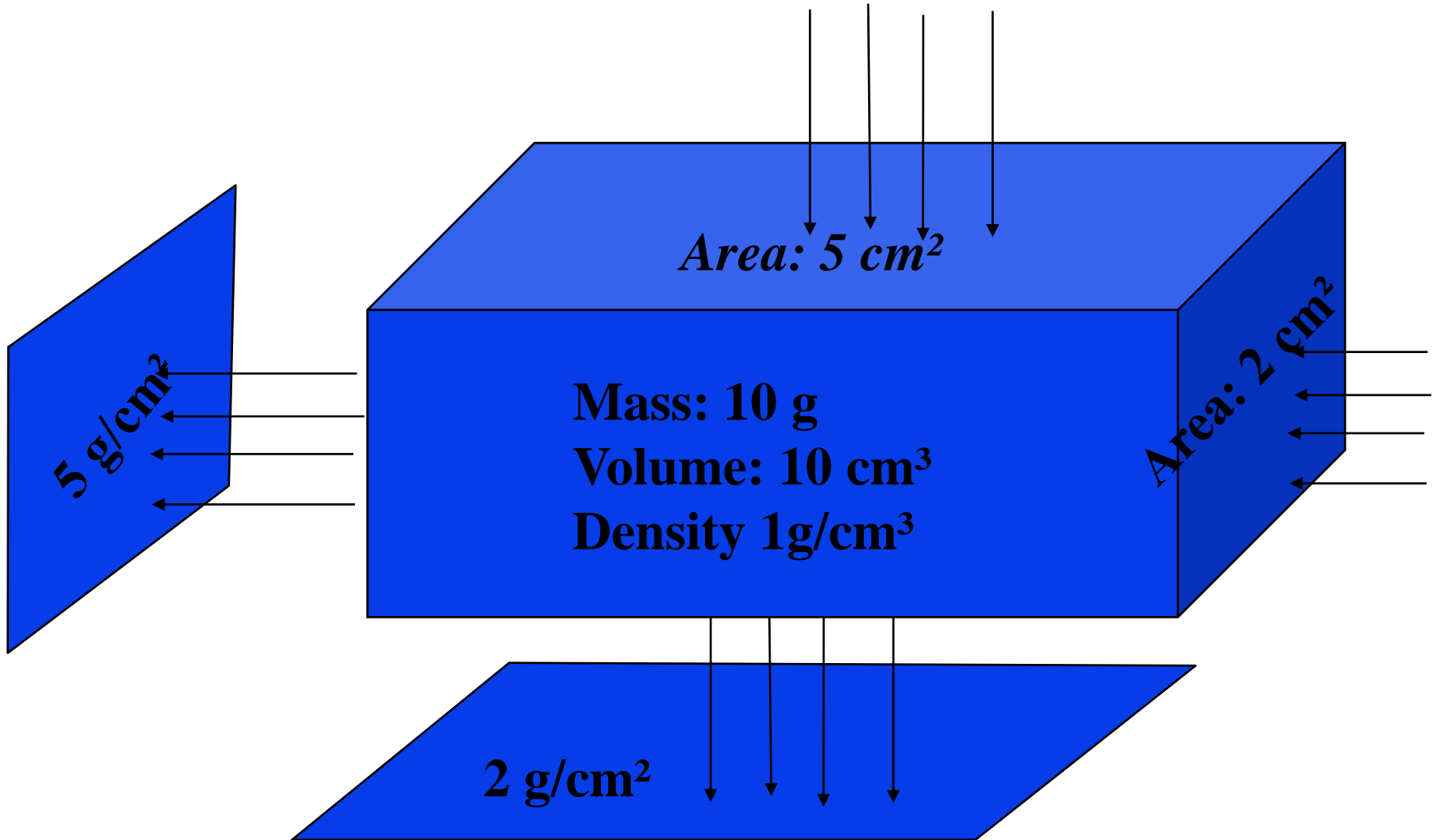


Bild nicht für Diagnosezwecke

Măsurarea DEXA



Influența dimensiunii și greutateii corpului

f., 46 y., 172 cm, 131 kg

DXA_{Hip,l.} +3,7

DXA_{Hip r.} +3,1

DXA_{LS} +1,9

pQCT_{radius} -0,8

SOS_{heel} -2,9

BUA_{heel} -5,6

Δ T-Score 9,3

f., 46 y., 149cm, 37kg

QCT_{spine} +0,1

pQCT_{radius} -0,2

DXA_{LS} -3,0

DXA_{Hip} -3,5

Δ T-Score 3,6

Source: Dr. Peter Schneider University Würzburg

Valorile **DMO** DXA sunt influențate într-o cantitate variabilă și imprevizibilă de modificările raportului dintre grăsime și masă musculară în **fascicolul** DXA și de compoziția măduvei osoase.

Un raport mai mare de masă musculară față de grăsime în **fascicolul DMO DXA conduce la valori mai scăzute și invers.**

O proporție mai mare de măduvă osoasă galbenă, care este mai bogată în grăsime, duce la o valoare **DMO** DXA mai mică și invers.

Cele mai frecvente locuri de măsurare DXA, coloana vertebrală și femurul proximal, sunt locurile în care cantitatea de țesut moale este cea mai mare și în care variabilitatea pe parcursul îmbătrânirii și între indivizi este cea mai mare.

Bolotin HH

DXA in vivo BMD methodology: an erroneous and misleading research and clinical gauge of bone mineral status, bone fragility, and bone remodelling

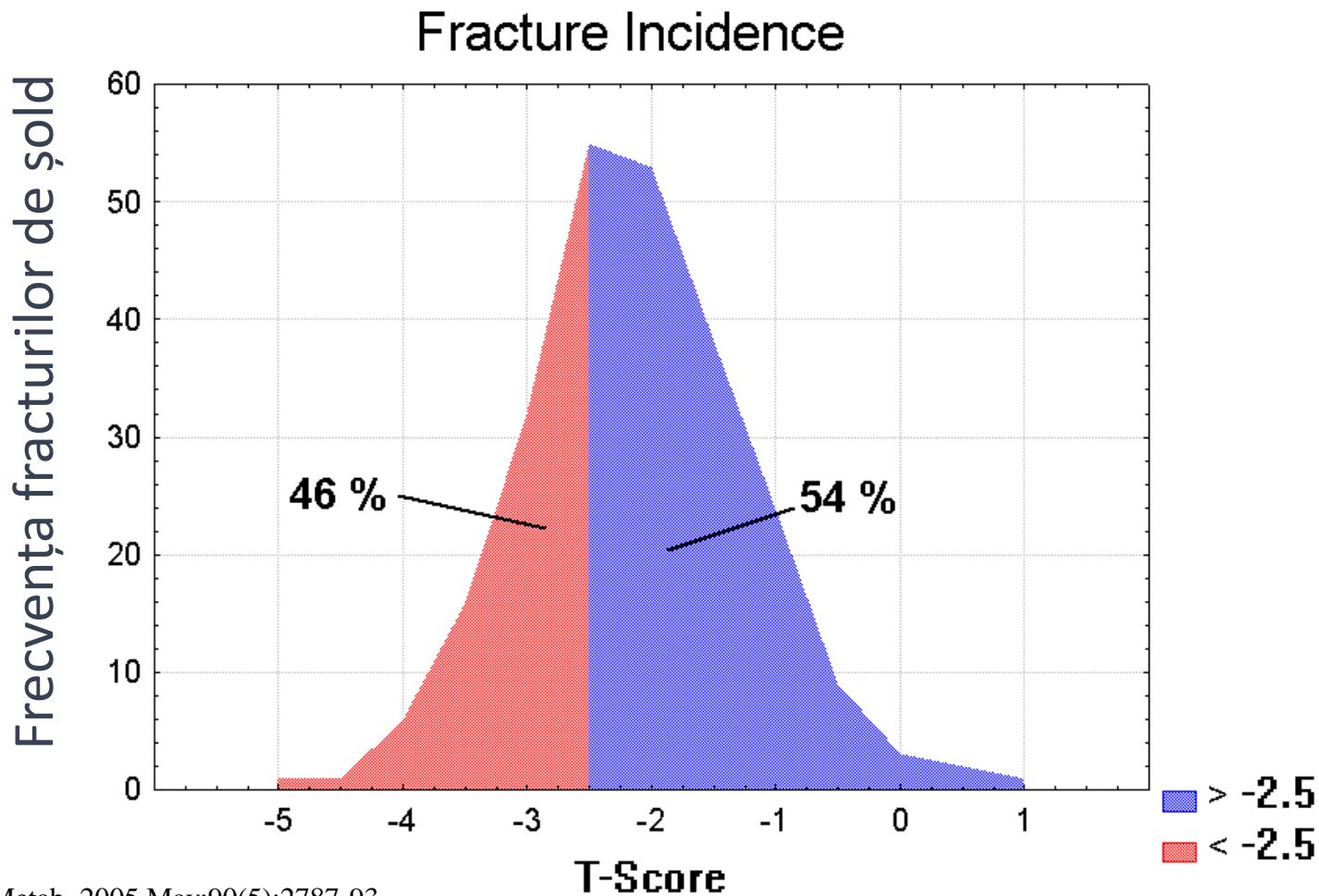
Bone., 2007;41(1):138-54,

Măsurătorile DXA și fracturile

Majoritatea pacienților cu fracturi de șold nu au osteoporoză

Conform criteriilor OMS

Studiul Fracturilor Osteoporotice (SOF), n=6667.



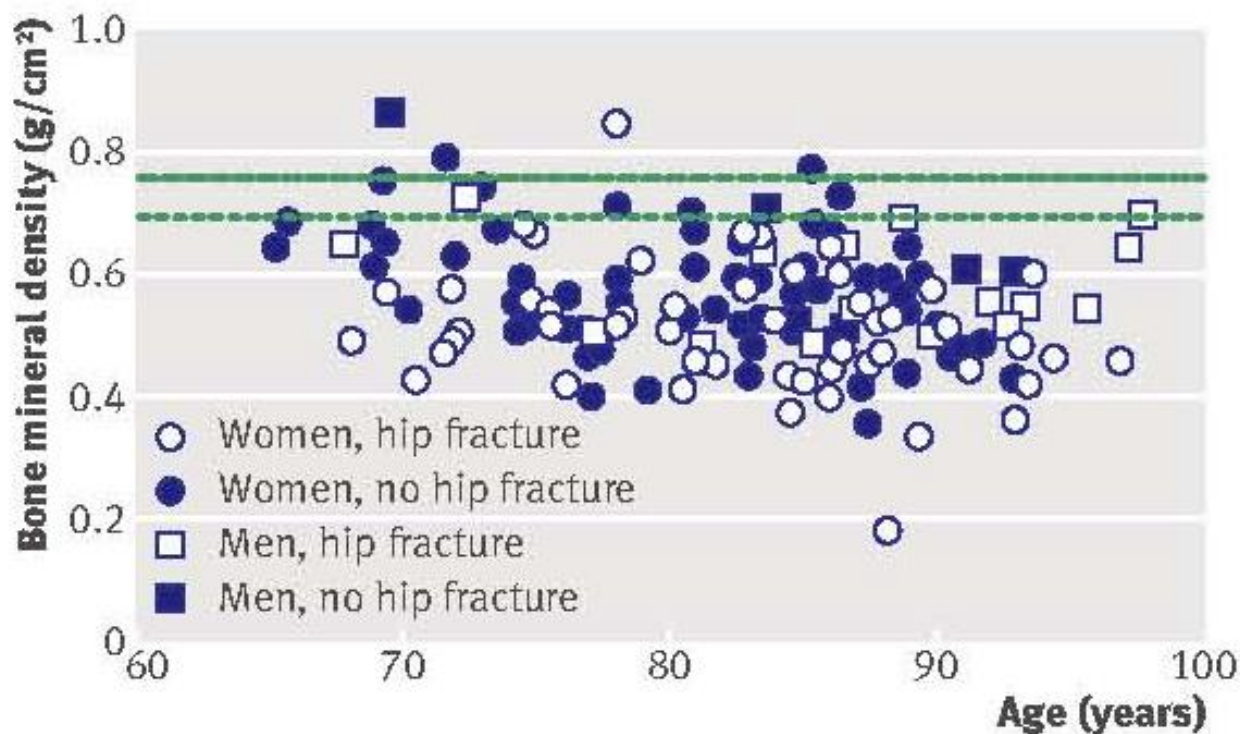
J Clin Endocrinol Metab. 2005 May;90(5):2787-93.

Hip fracture in women without osteoporosis.

Wainwright SA, et al.

Valorile T-Score la 242 de fracturi de șold

Nu există diferențe în densitatea minerală osoasă (DMO) între cei care au căzut și au suferit o fractură și cei care au căzut, dar nu au suferit o fractură



Densitatea minerală osoasă (BMD) la subiecții care au căzut

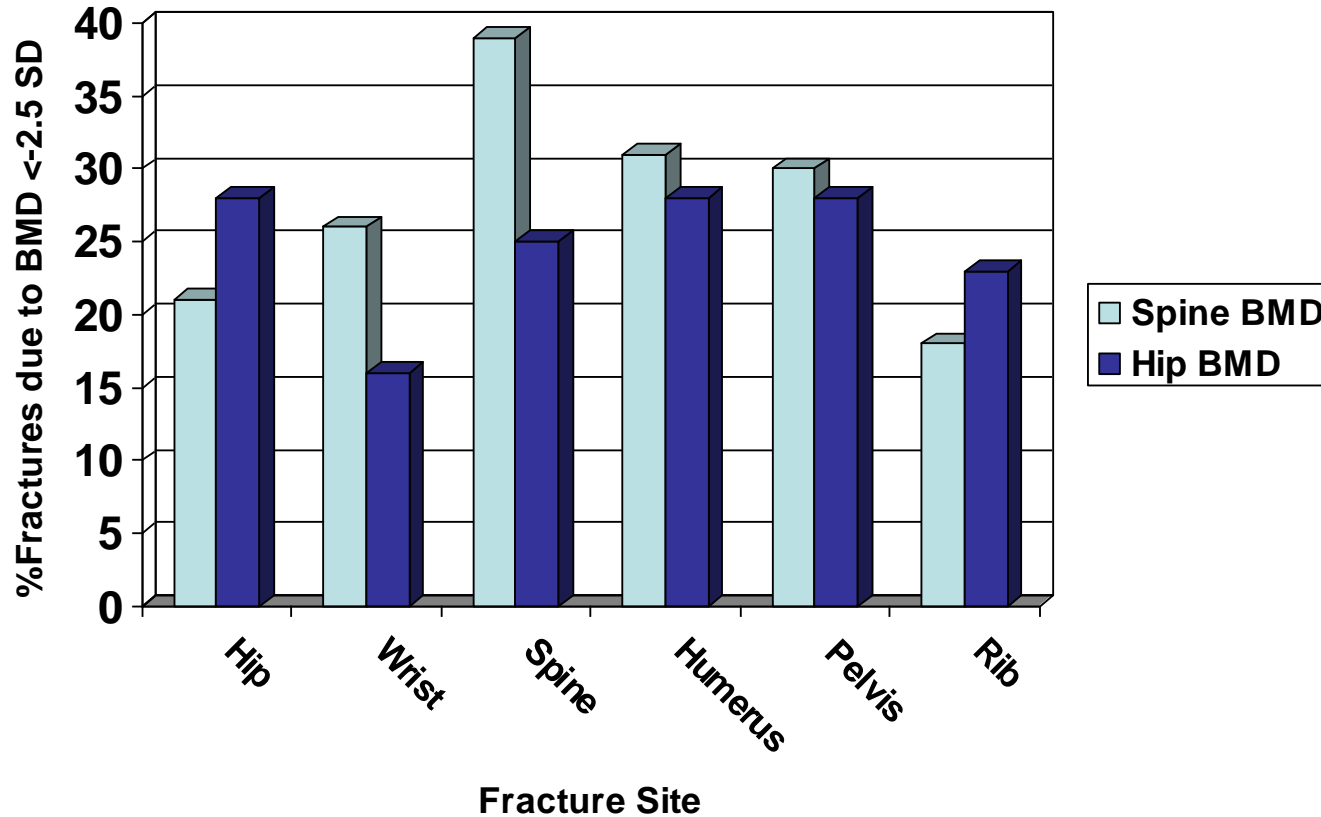
Liniile arată valorile T-2 SD pentru bărbați și femei (linia inferioară)

Shifting the focus in fracture prevention from osteoporosis to falls.

Jarvinen TL, Sievanen H, Khan KM, Heinonen A, Kannus P, BMJ, 2008;336(7636):124-6

Majoritatea fracturilor apar fără osteoporoză

Exemplu: Doar 20% din totalul fracturilor au o valoare Dexa sub -2,5%



DEXA ne oferă o valoare statistică, cum ar fi indicii T sau Z

pQCT cuantifică schimbările la nivelul oaselor și a mușchilor la o persoană individuală

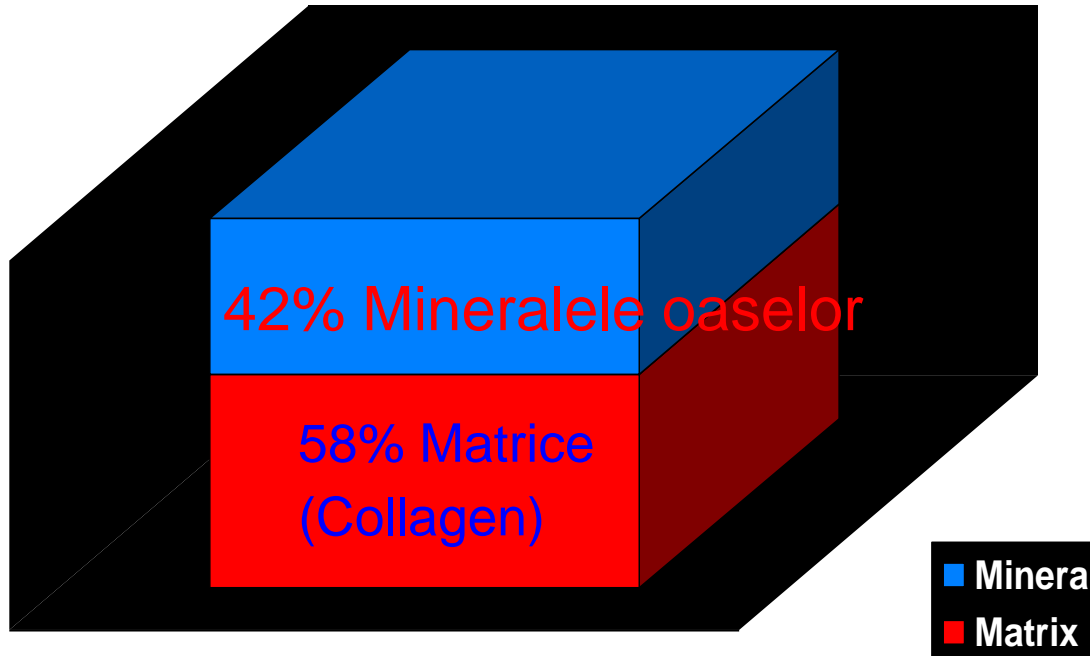
Dexa ca instrument de diagnostic furnizează doar informații despre compoziția corporală, dar nu oferă informații științifice pentru a înțelege interacțiunile musculoscheletale și neuronale

Unitatea de densitate în sistemele pQCT
[mg/cm³]

≠ !

Unitatea de densitate în sistemele DEXA
[mg/cm²]

Compoziția materiei osoase solide



Densitatea matricei = $1.0 \text{ g/cm}^3 * 0.58 = 0.58 \text{ g/cm}^3$

Densitate minerală = $3.2 \text{ g/cm}^3 * 0.42 = 1.34 \text{ g/cm}^3$ (masurat de pQCT)

Densitate specifică a materiei osoase solide = 1.92 g/cm^3

Densitate Plumb = $11,34 \text{ g/cm}^3$, Densitate Aluminiu = $2,71 \text{ g/cm}^3$, Densitate lemn = $0,8 \text{ g/cm}^3$

Densitate

- **Definitie:**

$$\text{Densitate} = \text{Masa} / \text{Volum} \quad [\text{mg}/\text{cm}^3]$$

- **Densitate:**

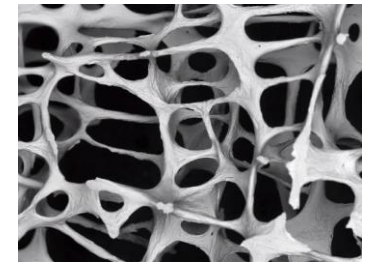
Proprietatea materială care este constantă **la** aproape toți oamenii și mamiferele
Excepții: Osteogeneza imperfectă, osteomalacia

- **Densitate aparentă:**

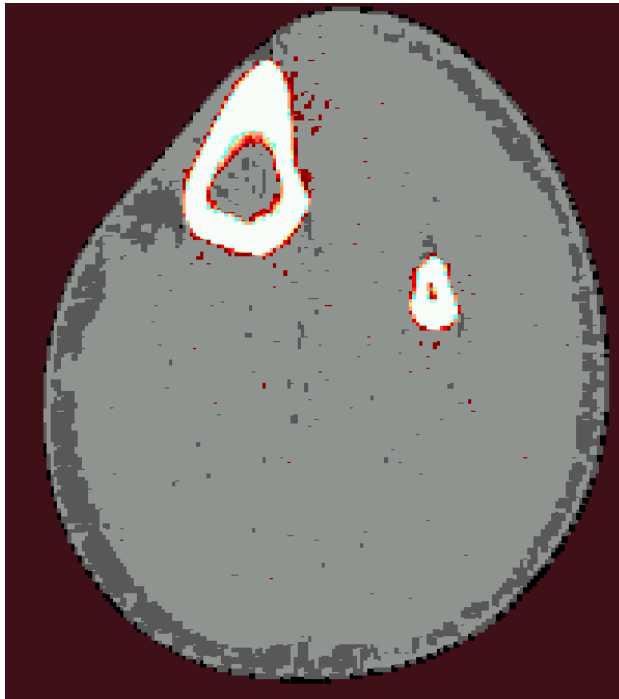
Densitate medie într-un anumit volum

Exemplu: Densitate trabeculară:

- Densitatea fiecărei trabecule individuale: $1100\text{mg}/\text{cm}^3$
- Densitate aparentă a regiunii trabeculare: $350\text{mg}/\text{cm}^3$

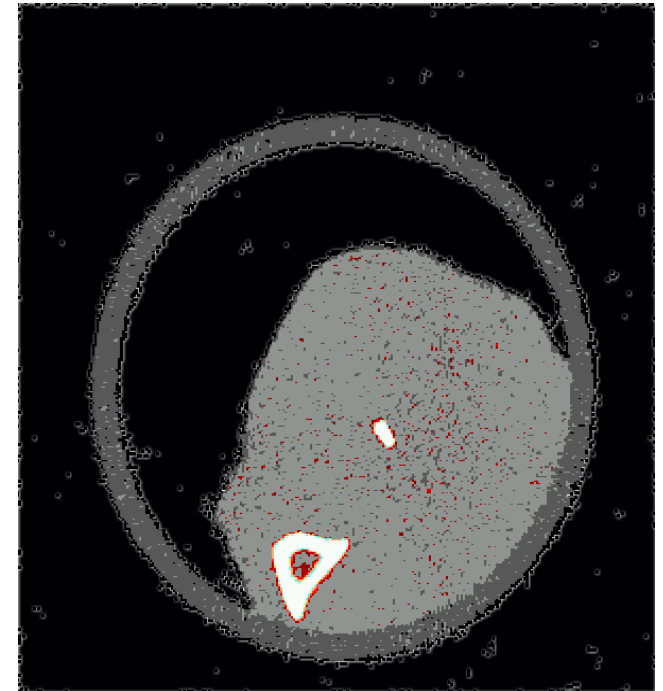


Densitate corticală a tibiei la om comparată cu șobolan



Densitate corticală
[mg/cm³]

1132
Om



1178
Șobolan

Comparatie pQCT- DXA

	pQCT	DXA
Masă osoasă	da	da
Separarea dintre osul cortical și trabecular	da	nu
Densitate volumetrică în mg/cm ³	da	nu
Redarea in 3D a arhitecturii osoase	da	nu
Determinarea rezistenței osoase (SSI - Indice de Rezistență a Secțiunii)	da	nu
Rezultate independente de dimensiunea corpului și schimbările în compoziția corporală	da	nu
Valori individuale de referință independente de dimensiunea oaselor	da	nu

Ce este osul?

Osul este:

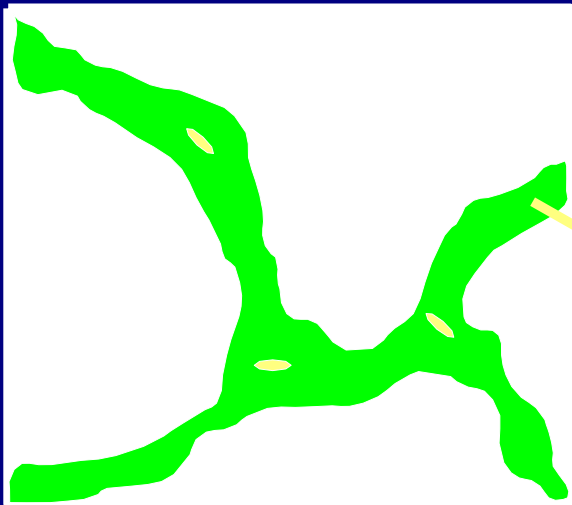
1. Un material: matrice osoasa organica +- minerale;
2. Un tesut: spongios, cortical;
3. Un organ: femur, radius etc.

Fiecare nivel de organizare biologică are propria sa densitate minerala!

1. Nivelul materialului: masa de minerale pe unitate de volum matrice osoasă organică (matrice DMO)
2. Nivelul țesutului: Masa de minerale pe unitate de volum de țesut osos și non-os (țesut DMO)
3. Nivelul de organ:
 - “Volumetric”: masa minerala per unitate de volum, continuta de periost (DMO tesut)
 - “Arial”: Masa de mineral pe unitate de suprafată de proiecție într-o direcție dată (corelarea dintre DMO a organului și dimensiunea osului)

BMO a tesutului: cât mineral este într-o secțiune de spongioza/cortex?

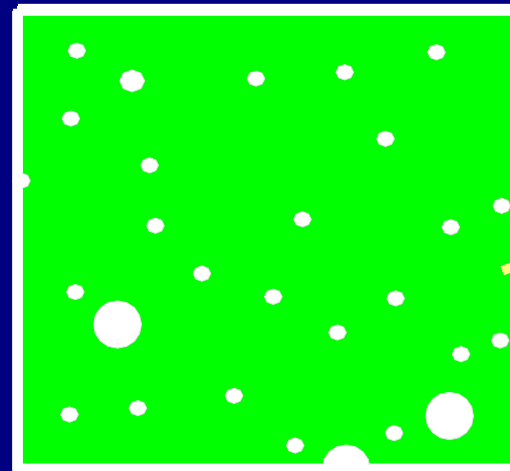
Os trabecular



Volumul țesutului

Masa minerala

Os cortical



Volumul țesutului

Masa minerala

Test DMO

e

=

Masa minerala

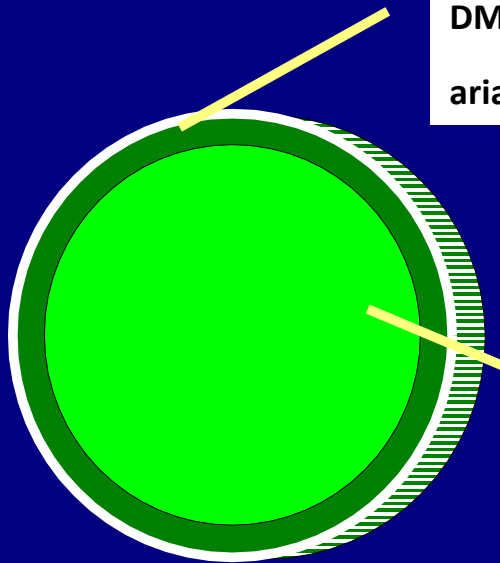
Volumul tesutului

e

Determinare posibila cu pQCT

Trabecular BMD or cortical BMD

DMO (densitatea minerala osoasa) a unui organ – exemplu



Compartimentul cortical

DMO a țesutului din compartimentul cortical : 1100 mg/cm³

aria corticală relativ: 20%

DMO a țesutului

din compartimentul trabecular: 150 mg/cm³

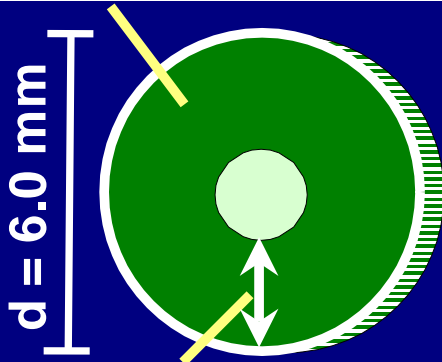
$$\text{BMDorgan} = 1100 \text{ mg/cm}^3 \times 0.20 + 150 \text{ mg/cm}^3 \times 0.80$$

→ $\text{BMDorgan} = 340 \text{ mg/cm}^3$

DMO – Fiziologie: Modificari postnatale la diferite nivele (loc: diafisaj femural)

Nou-nascut

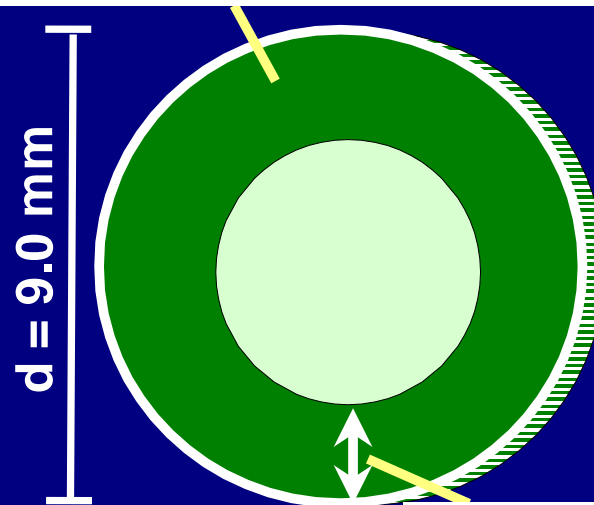
DMO in tesutul cortical:
918 mg/cm³



Grosime corticala:
2,15 mm

La 6 luni

DMO in tesutul cortical: 855 mg/cm³



Grosime corticala:
2,00 mm (-7%)

DMO organ: 845mg/cm³

CMO: 23.9mg/mm

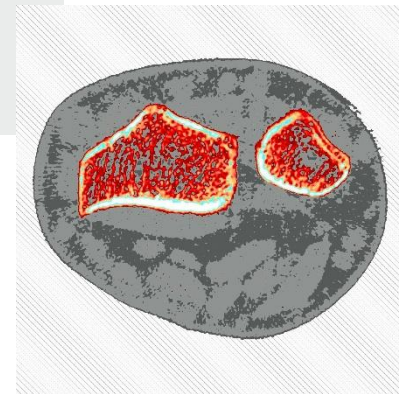
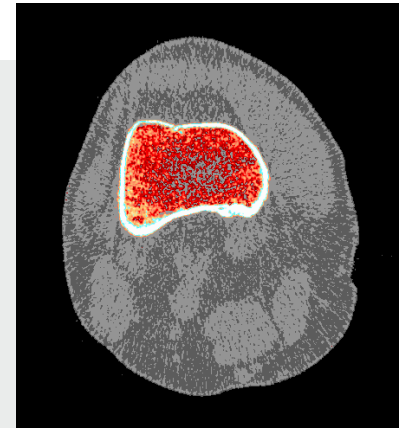
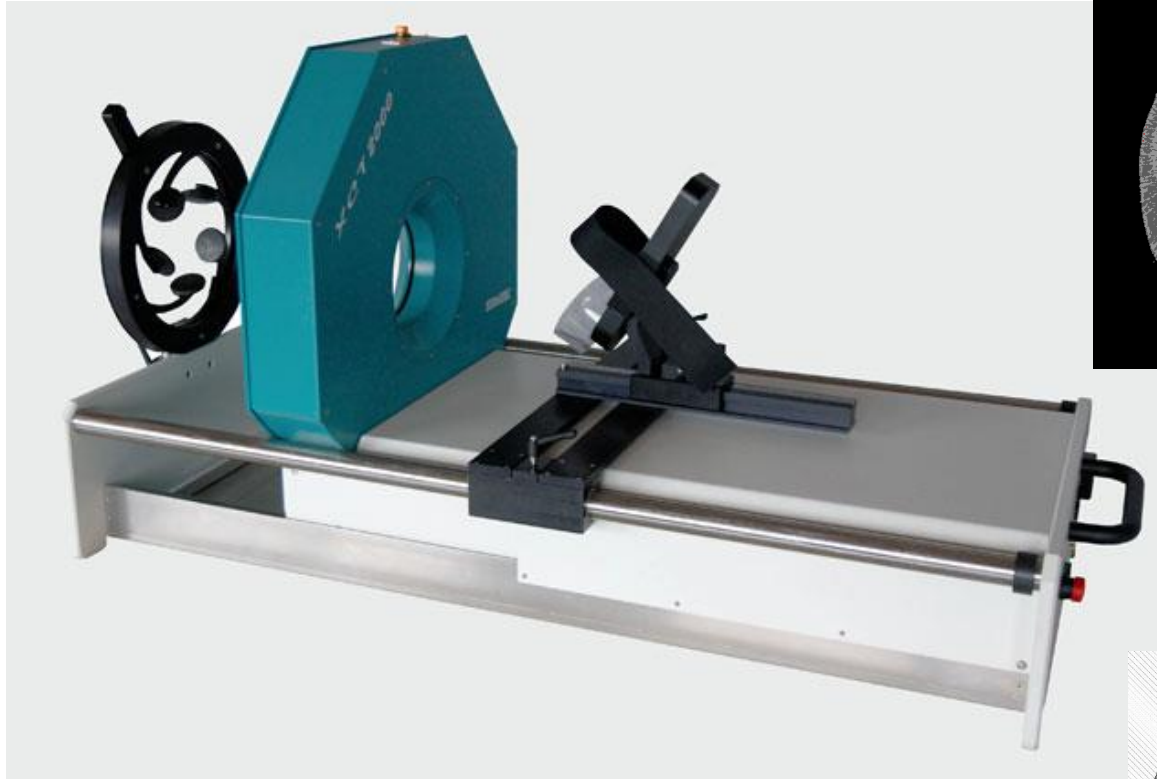
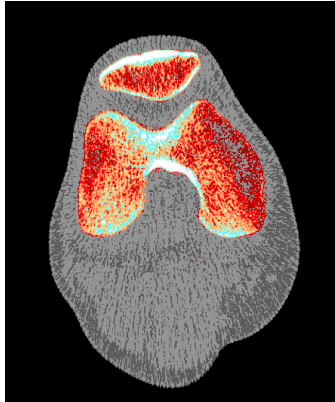
Nivelul DMO a membrului poate fi determinat cu pQCT

DMO organ: 592 mg/cm³ (-30%)

CMO: 37.7 mg/mm (+58%)

Diagnosticul osos cu ajutorul pQCT

Proprietăți ale materialului + Geometrie / structură

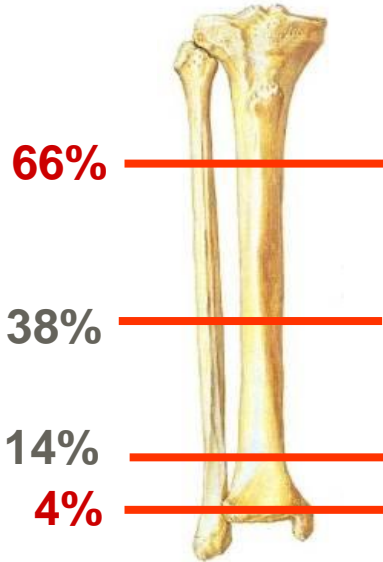


Tibia și radius sunt soliciate în principal în direcția axială

Măsurători

pQCT

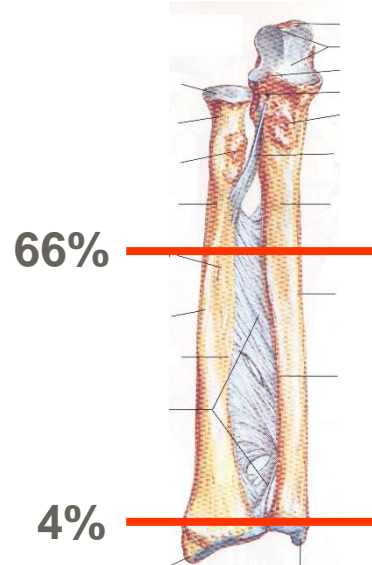
ale **tibiei**
(gamba)



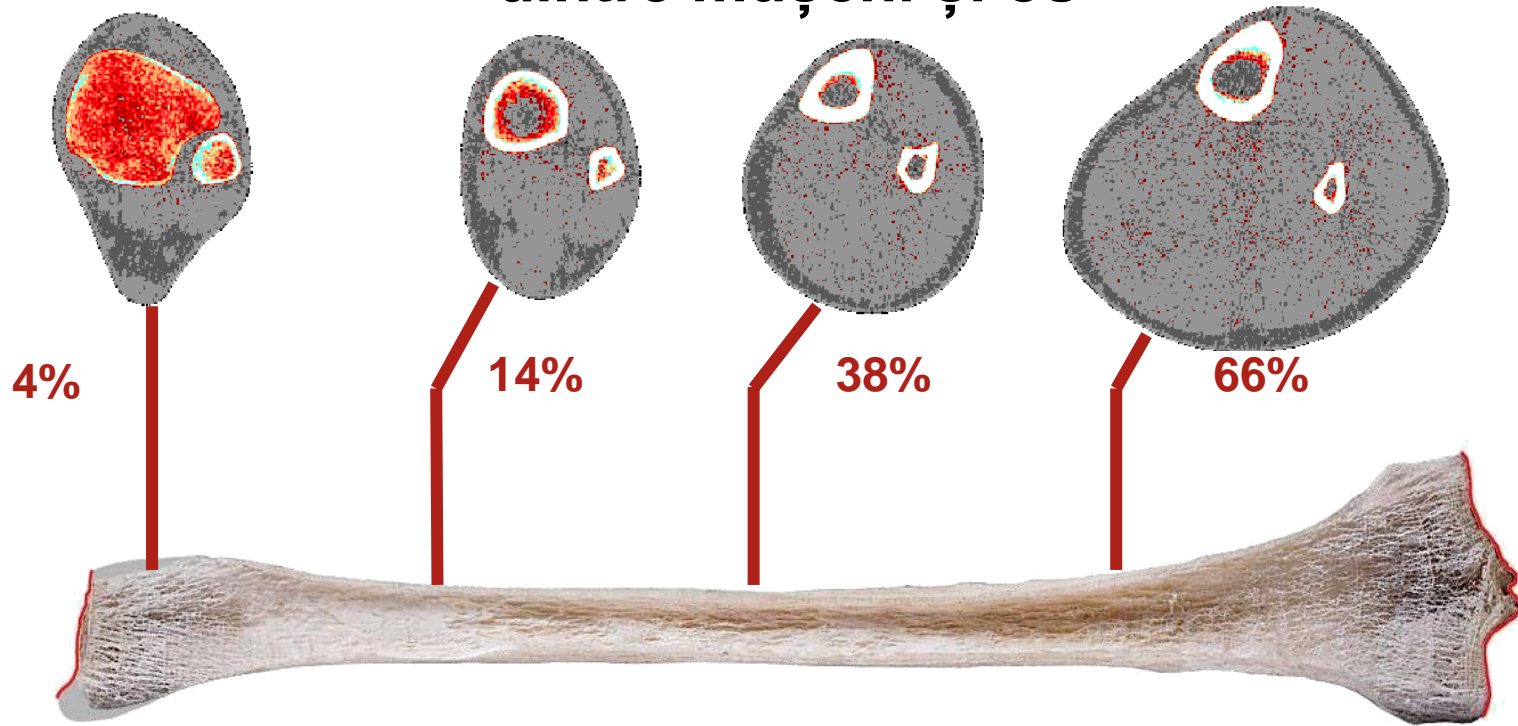
Măsurători

pQCT

ale **radiusului**
(antebrat)

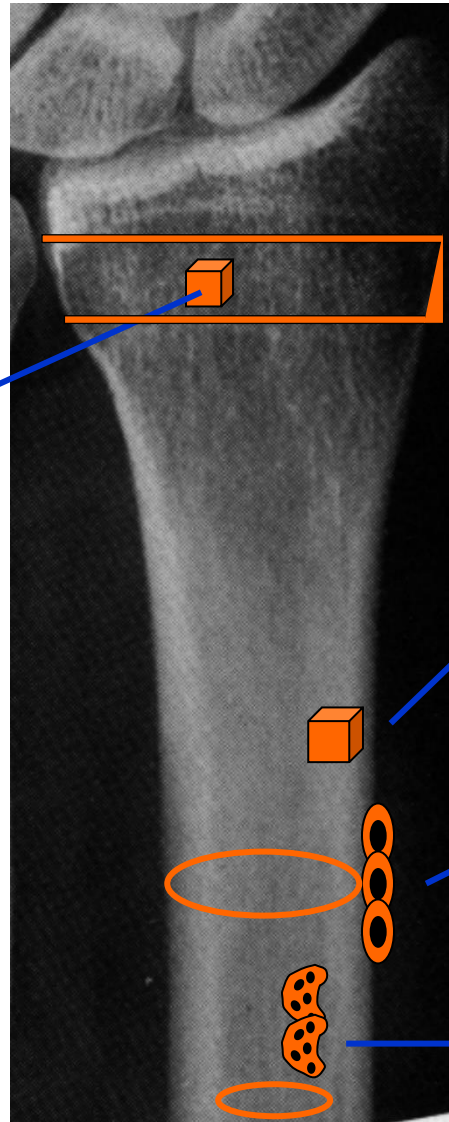


Tomografia computerizată (CT) permite separarea oaselor corticale și a oaselor trabeculare și determinarea relației dintre mușchi și os



Zonele de măsurare la nivelul tibiei

Măsurarea cu pQCT



Îngustarea metafizară
Secțiuni multiple

Reînnoirea trabeculară
(Remodelare / Modelare)
Densitatea trabeculară

Reînnoire intracorticală
(Remodelare)
Densitate corticală

Creșterea periostală
(Modelare)
Circumferința periostală

Reînnoire endostală
(Remodelare / Modelare)
Circumferința endostală

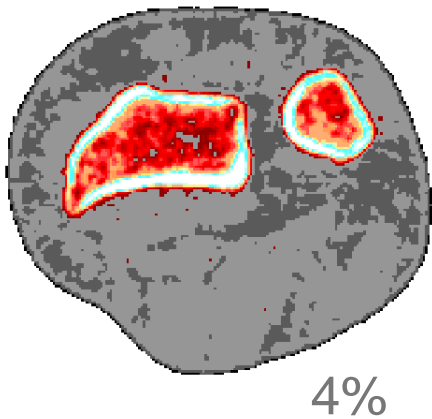
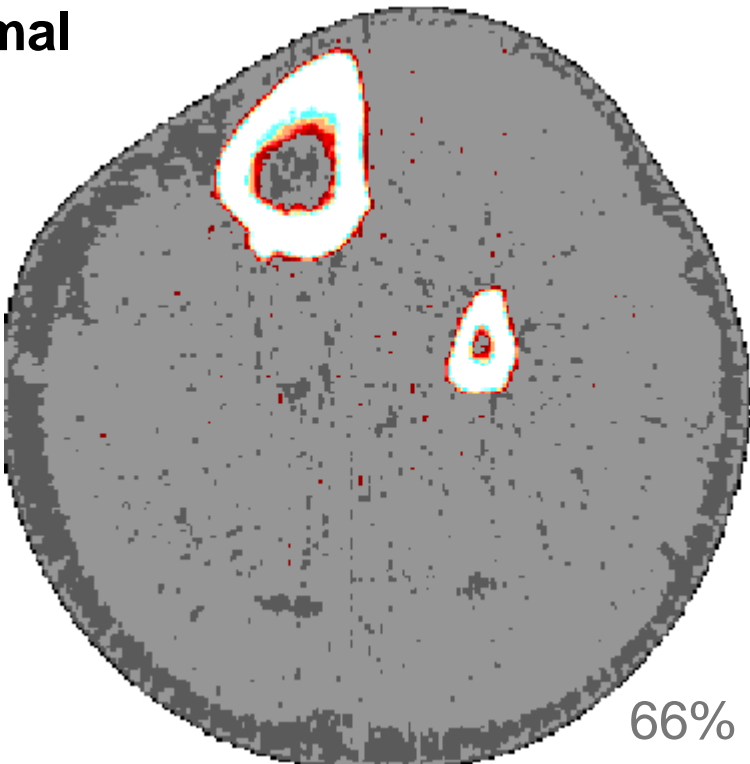
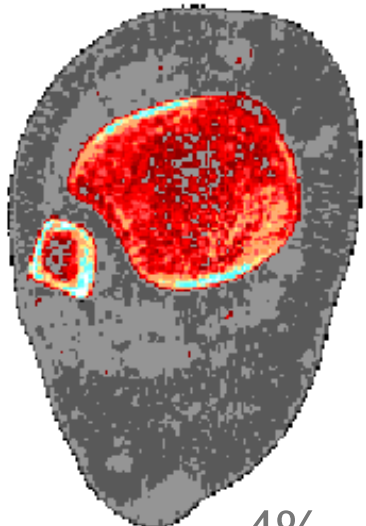
Exemplu: paraplegic

- densitate corticală și trabeculară

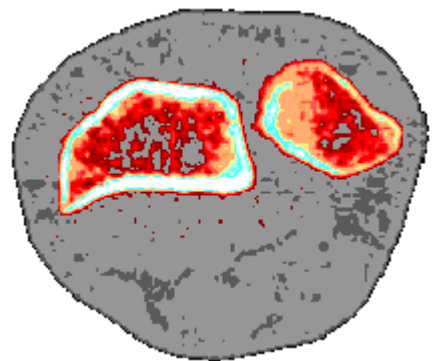
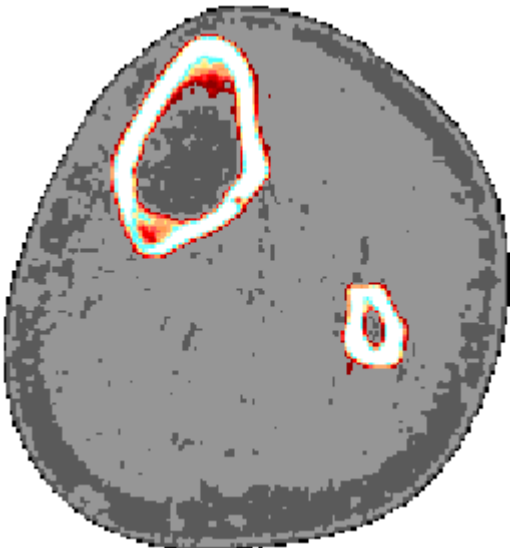
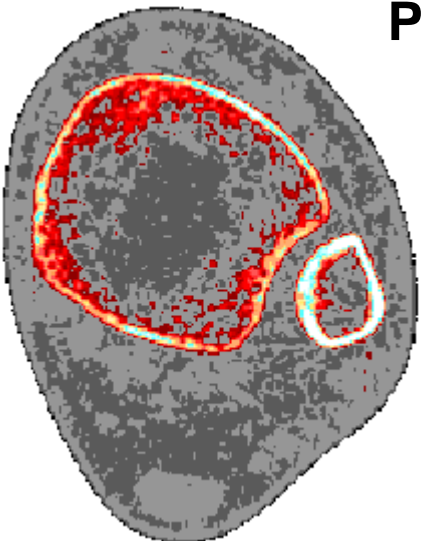
Tibia

Normal

Radius

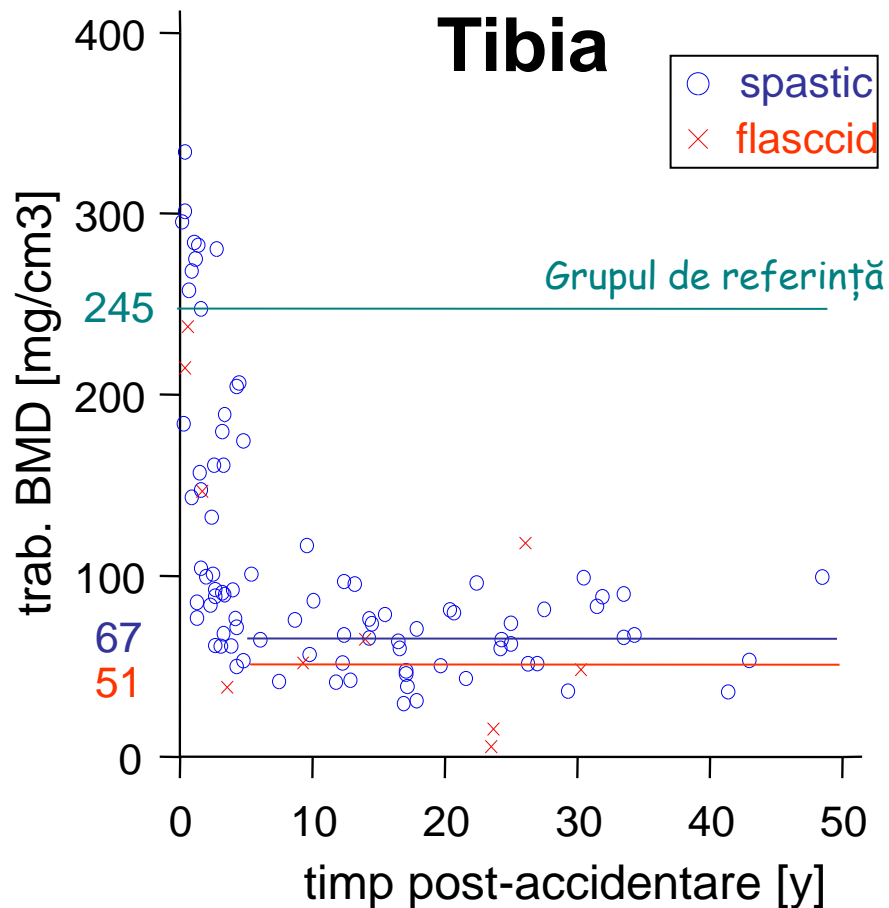


Paraplegic



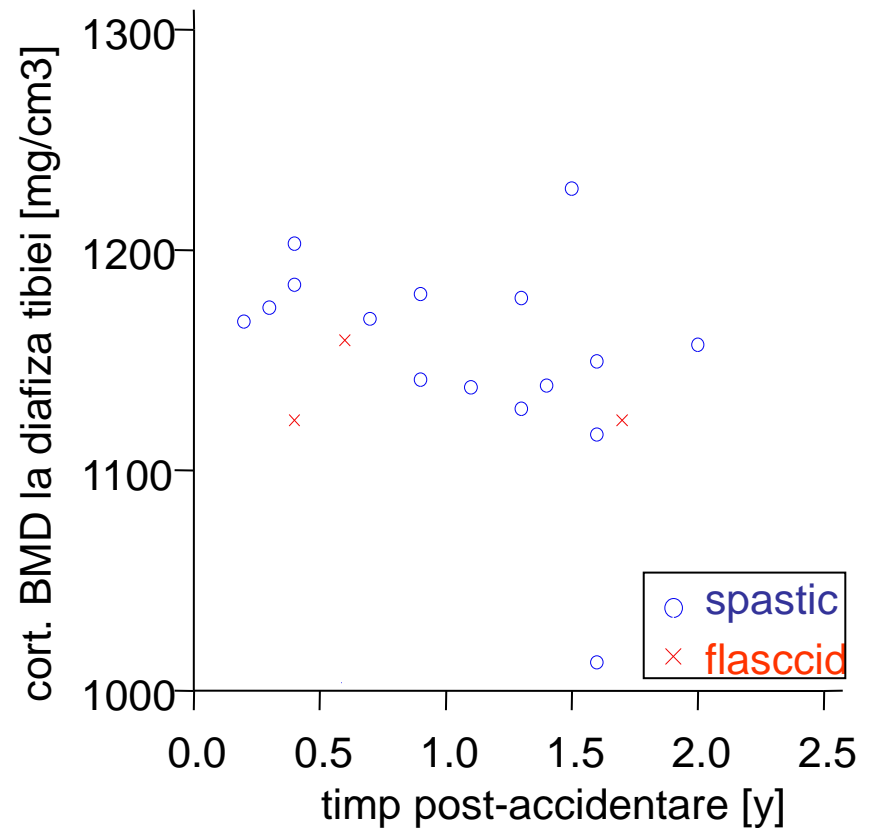
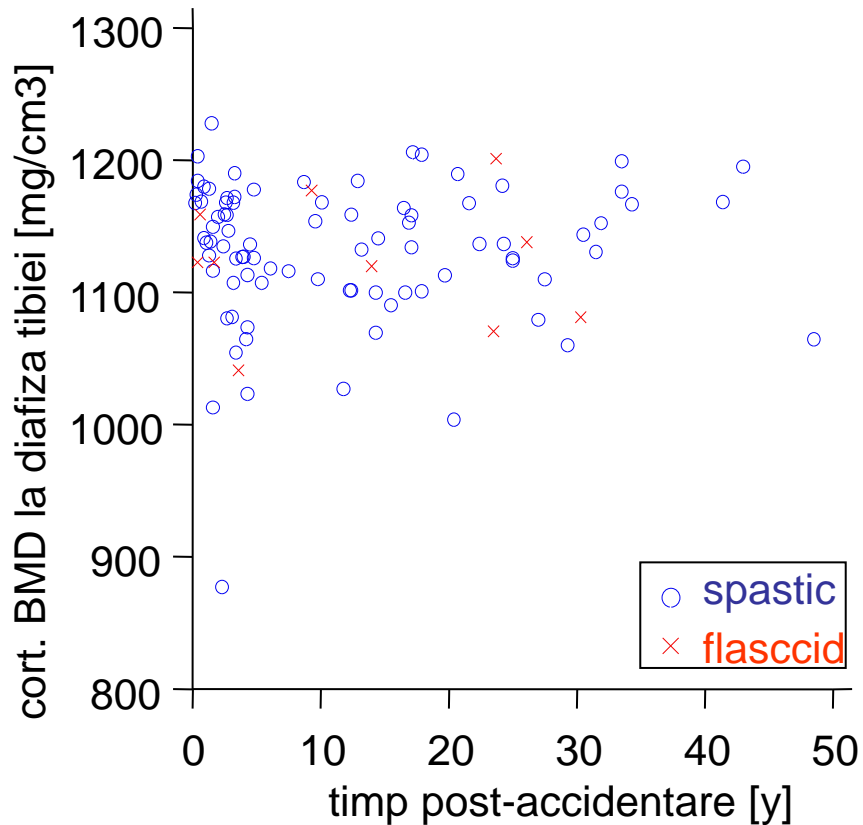
Paraplegici: Densitatea trabeculară la tibia distală 4%

Densitate aparentă



Paraplegici: Densitate corticală la tibie distală 38%

Proprietatea materială + efecte de remodelare



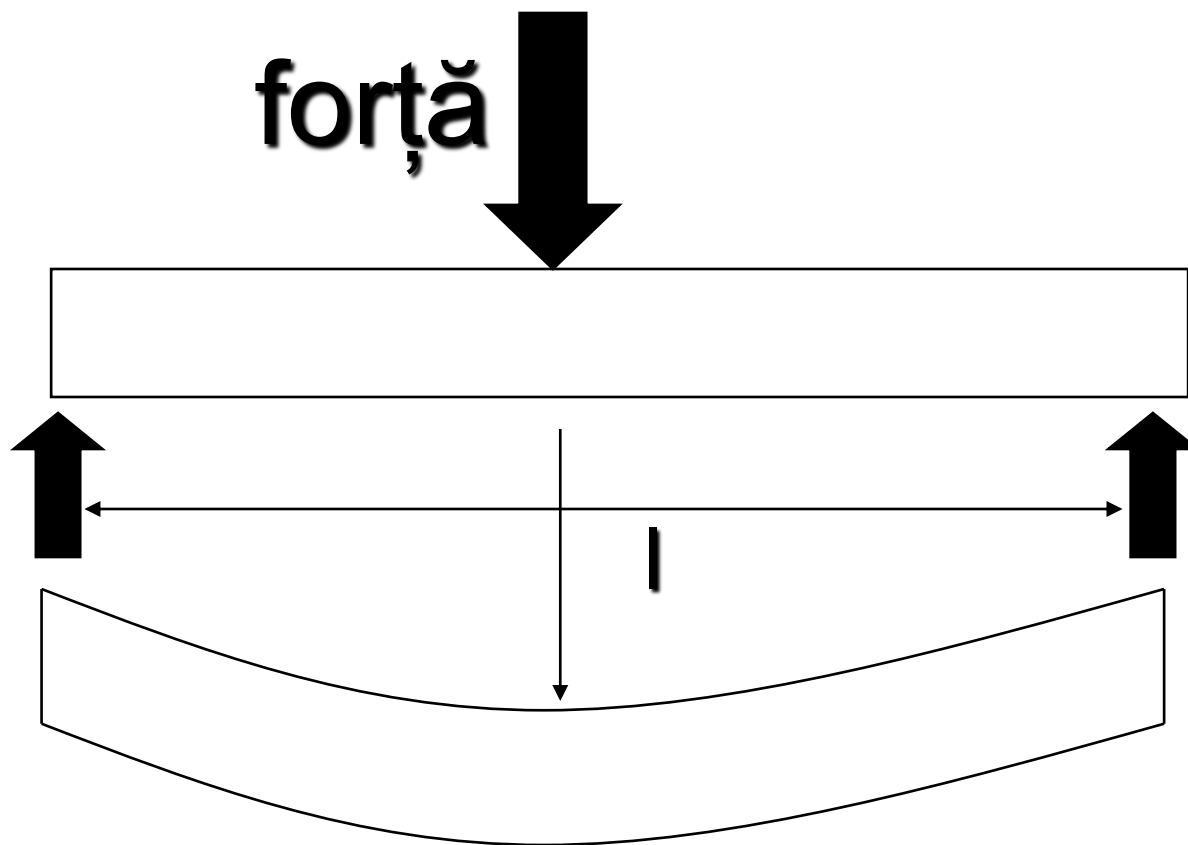
Ce înseamnă rezistența osoasă

Este densitatea materialului legată de rezistența mecanică?

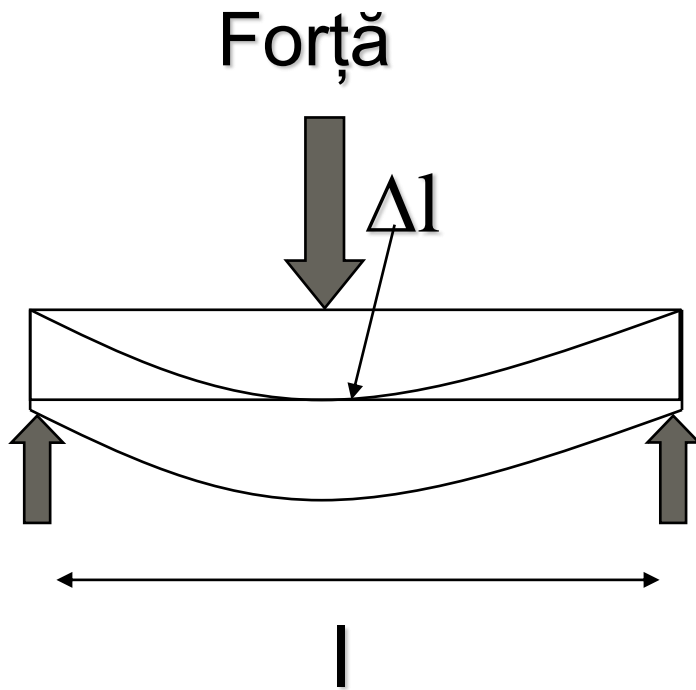
Test de fractură

rezistență osoasă

forță



Calculul încărcăturii de îndoire / fractură



$$\Delta l = \frac{F * l^3}{48 * CSMI * E}$$

Δl	=	Deformare [mm]
F	=	Forță [N]
l	=	Distanța dintre suporturi
$CSMI$	=	Moment de inerție [mm ⁴]
E	=	Elastic modulus [N/mm ²]

Geometrie
Proprietate material

Rezistența osoasă depinde de:

Geometrie și proprietatea materialului (modulul de elasticitate)

**Densitatea materialului nu este legată
de rezistența osoasă!**

Calculul încărcăturii de fractură din scanările pQCT

Încărcătura de fractură poate fi calculată în felul următor:

$$F_B = \frac{4\sigma_B * SSI}{l}$$

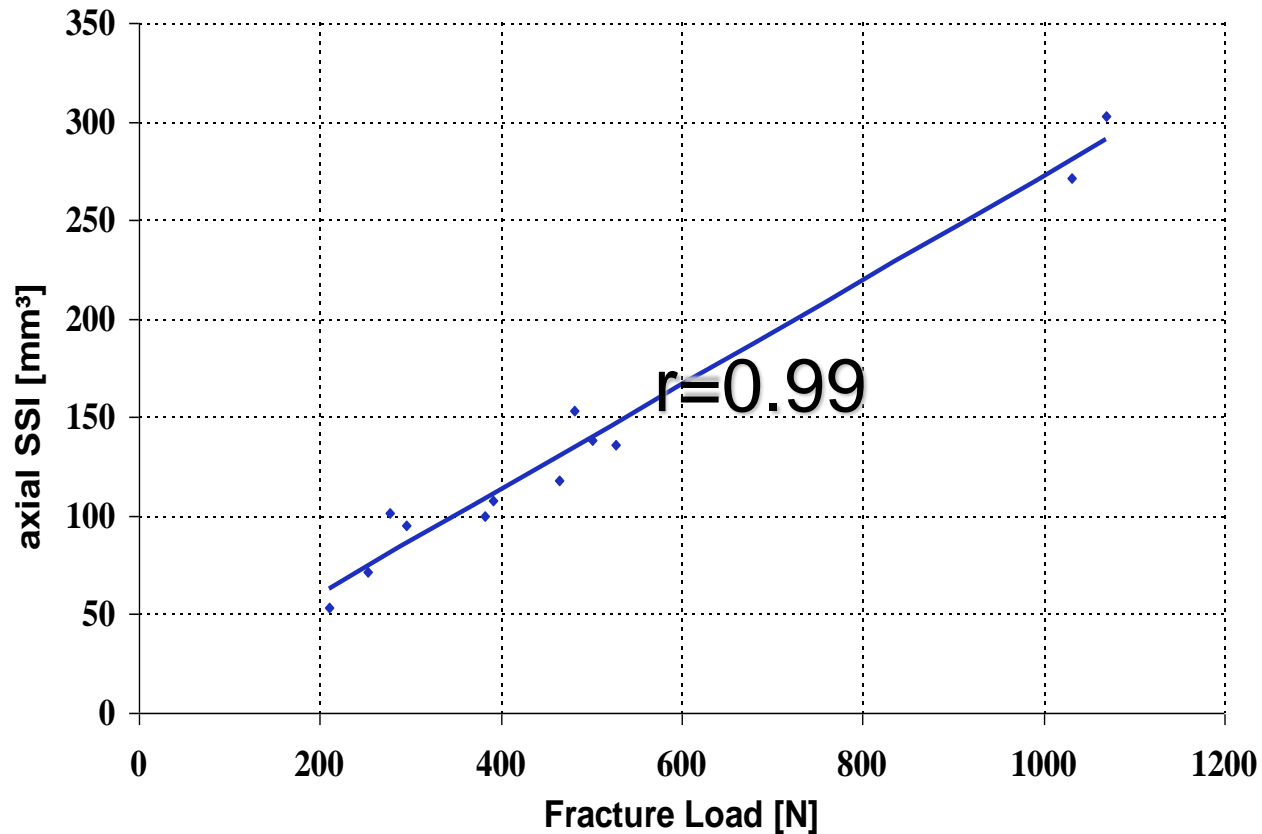
F_B = Încărcătura de fractură [N]

σ_B = Încărcătură maximă = 180 Mpa

l = Distanța între suporturi

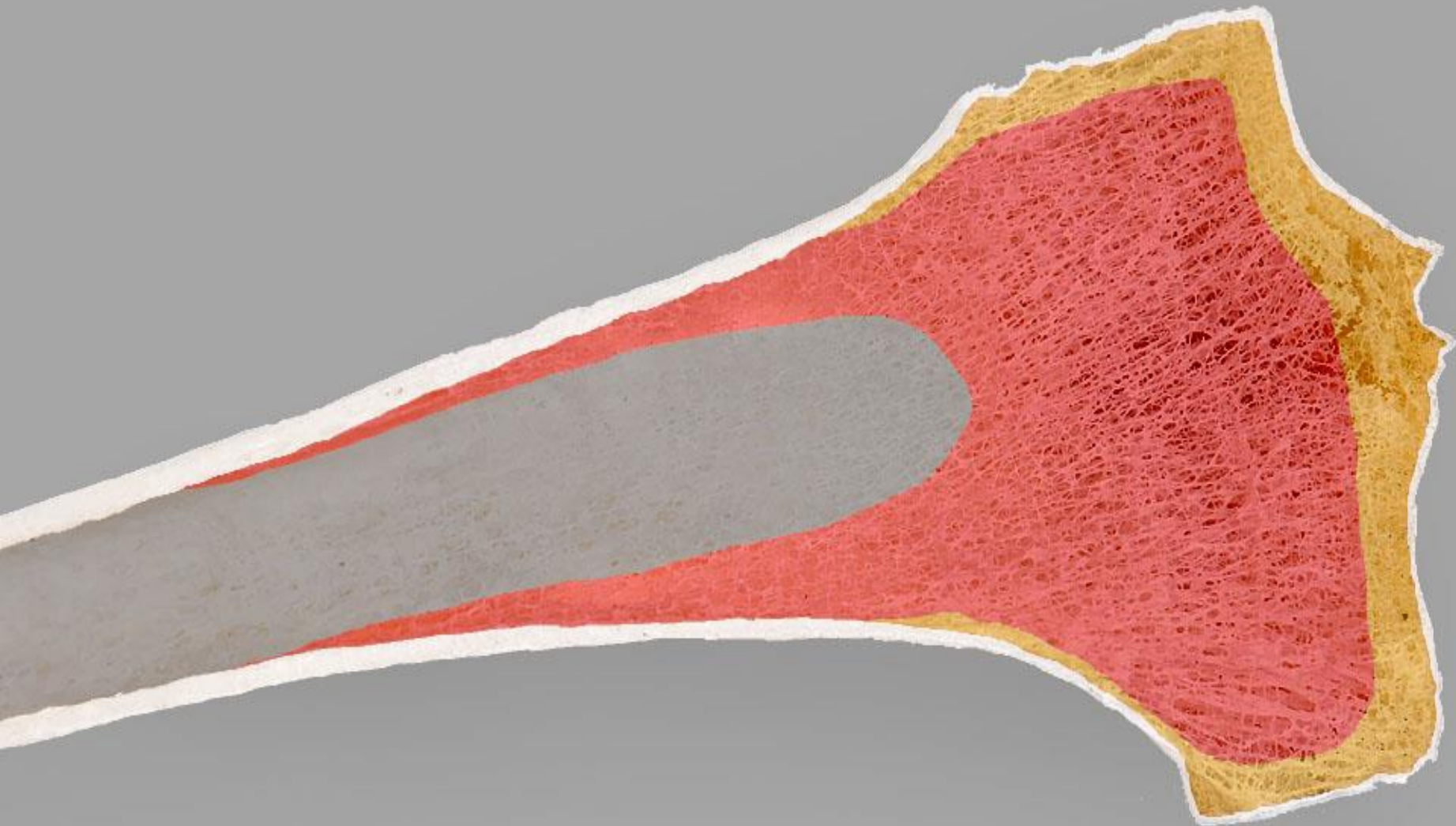
SSI = Măsurată cu pQCT

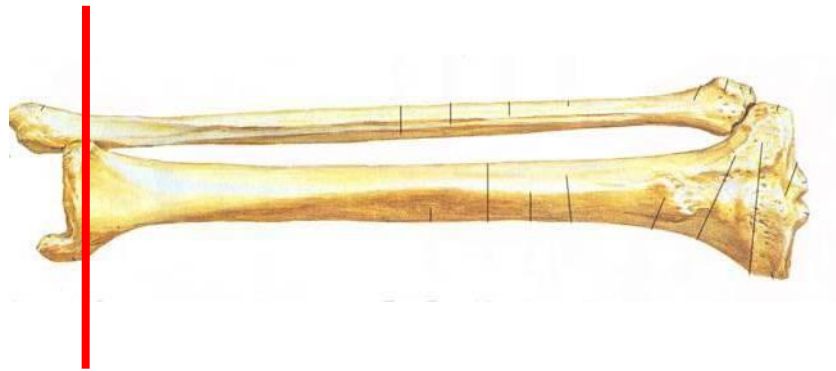
Corelația dintre SSI axial și încărcătura de fractură



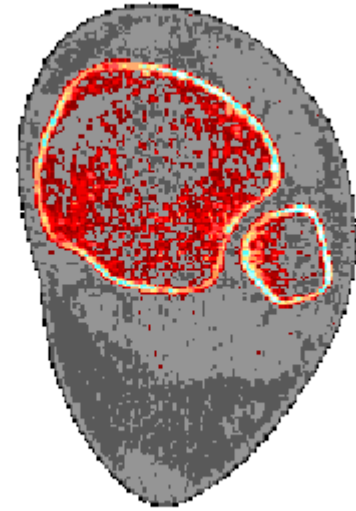
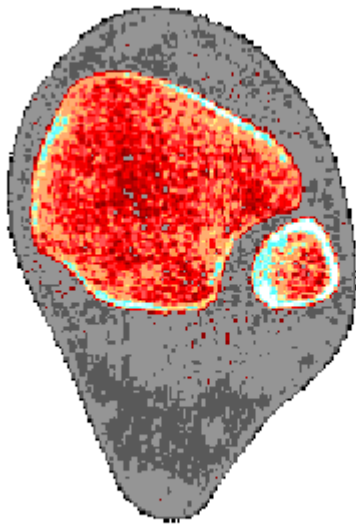
G. Wilhelm et al. In: MusculoSkeletal Interactions Vol 2 G Lyritis Ed. 105 - 110

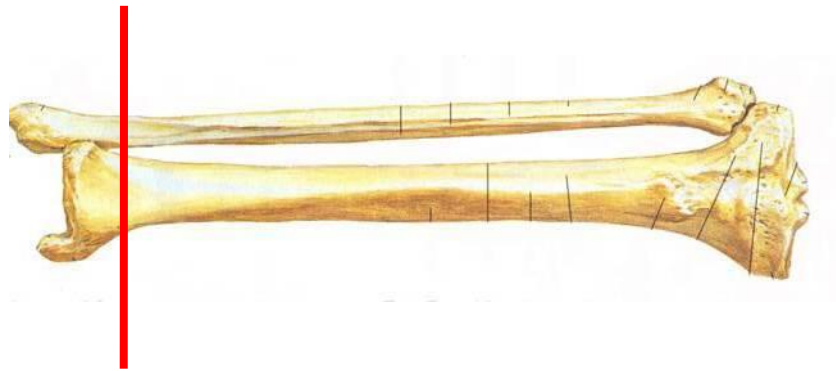
Geometrie și distribuția masei de-a lungul tibiei



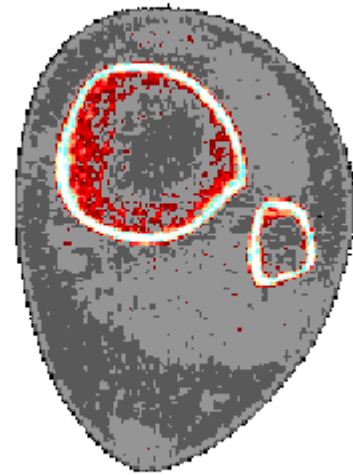
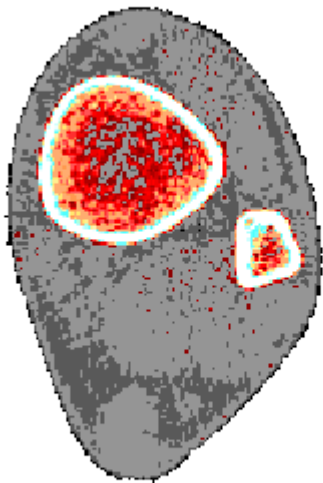


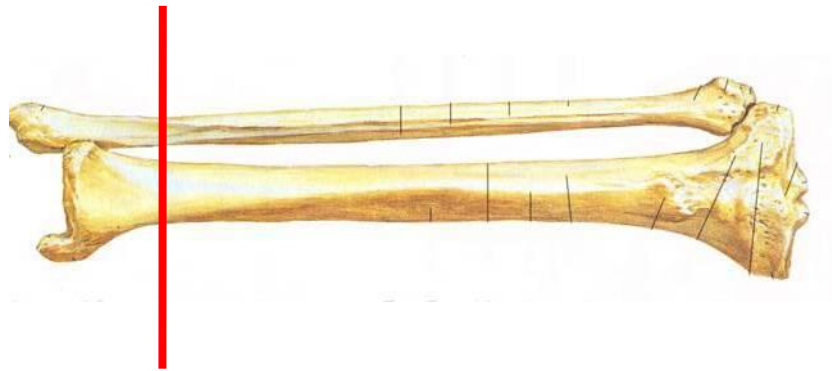
5%



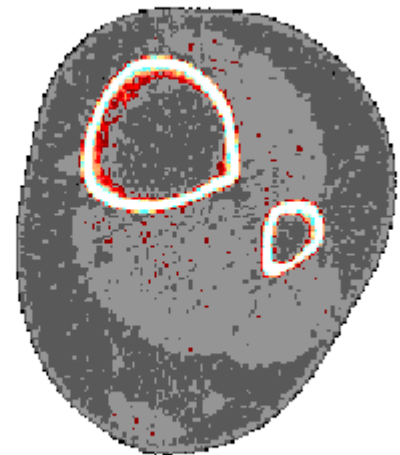
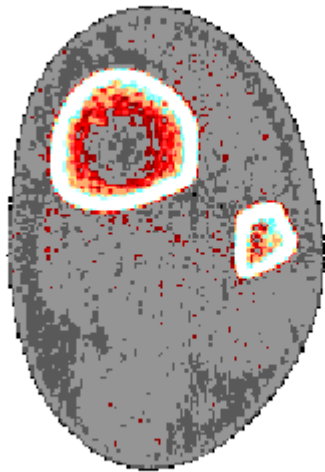


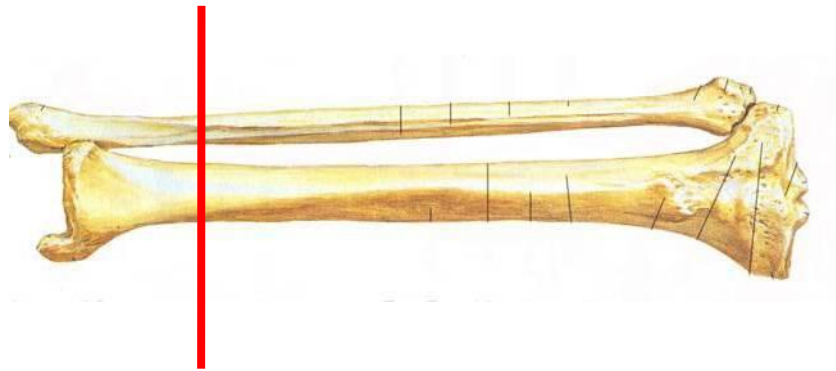
10%



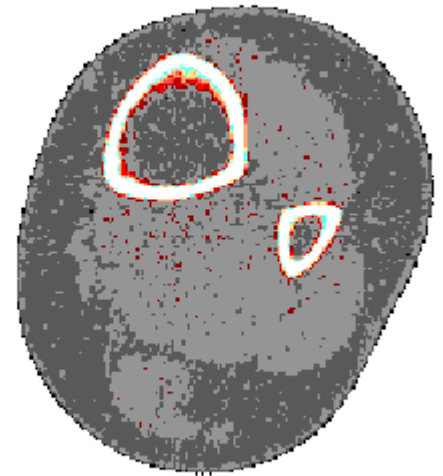
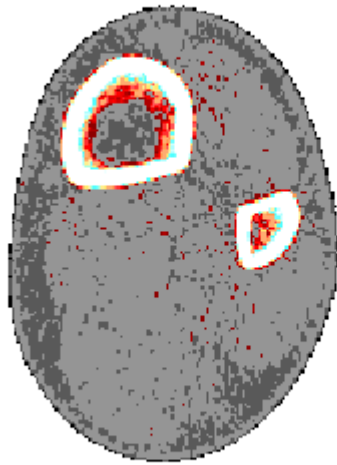


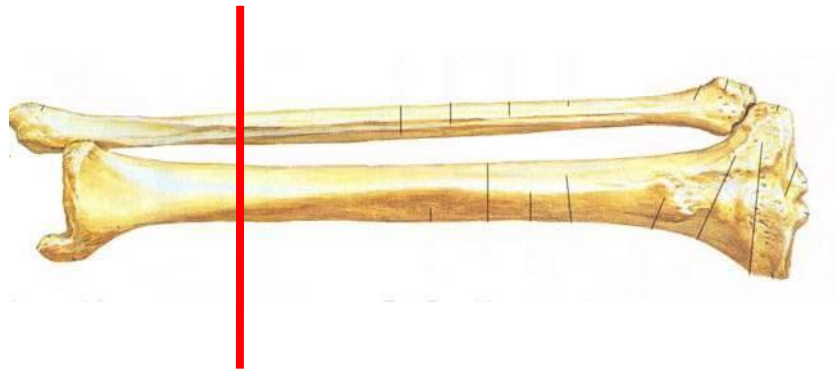
15%



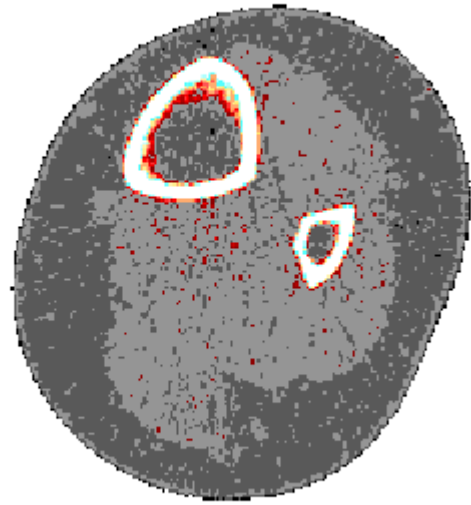
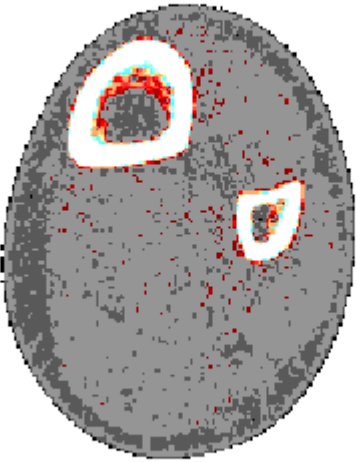


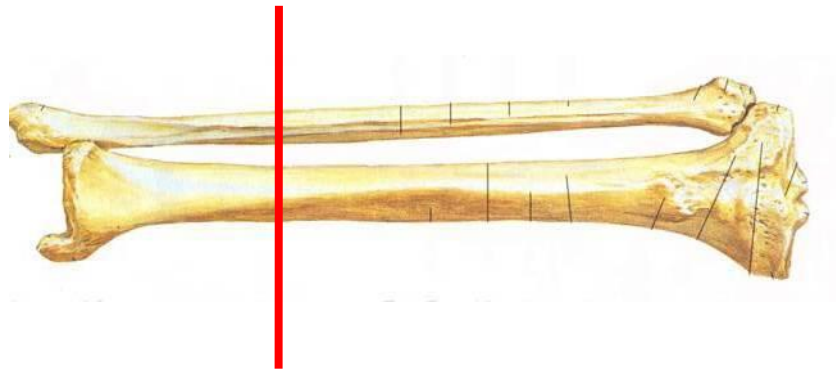
20%



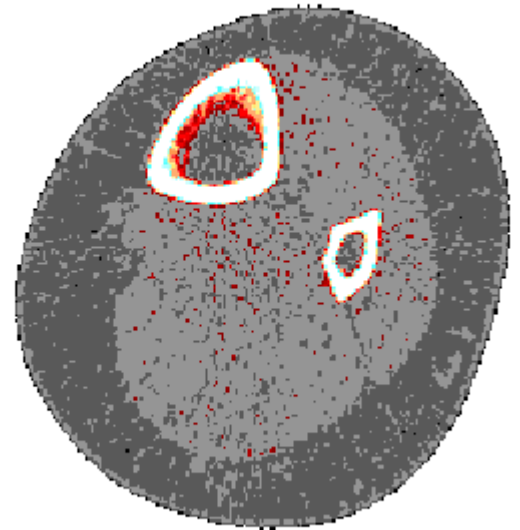


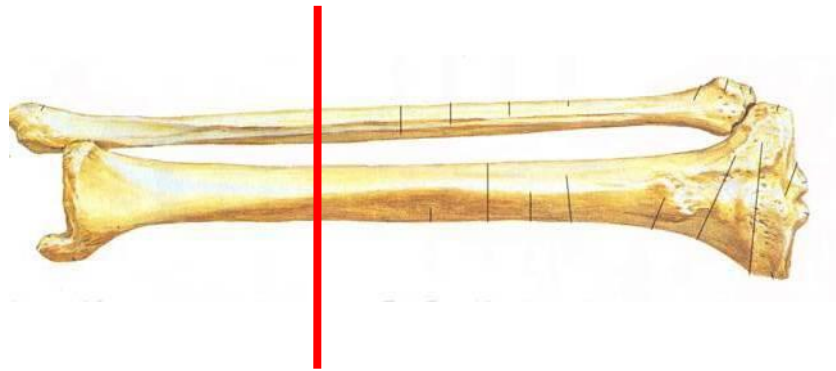
25%



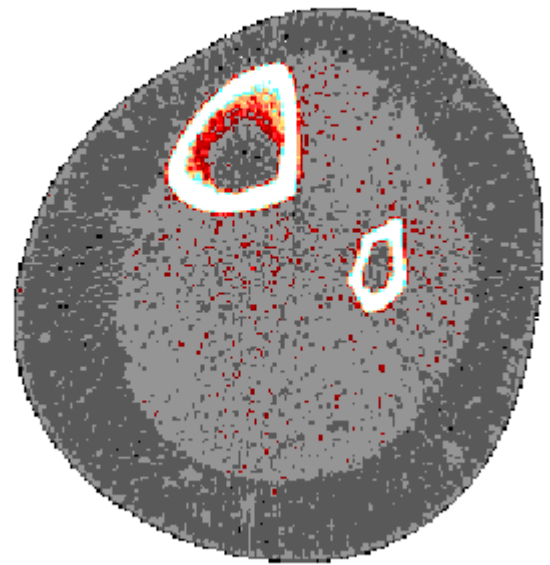
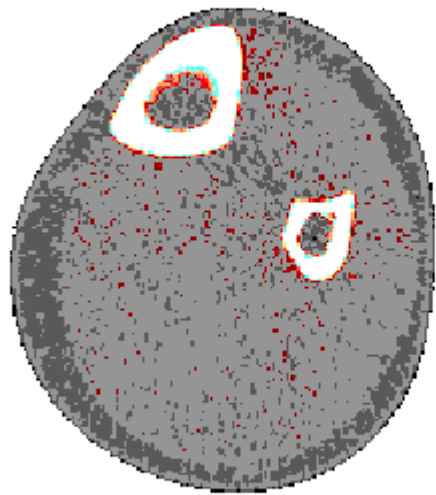


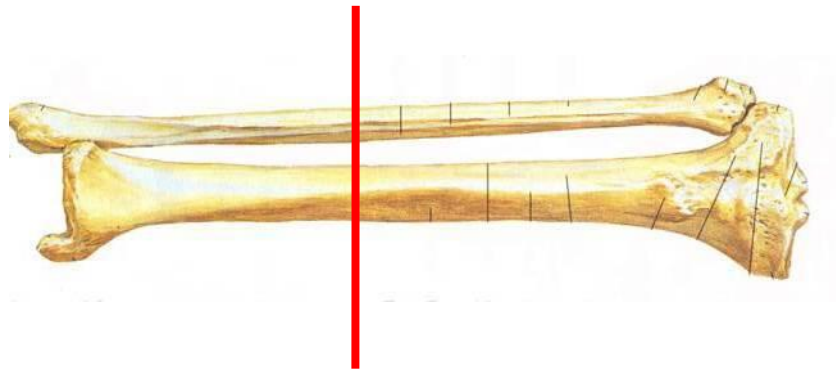
30%



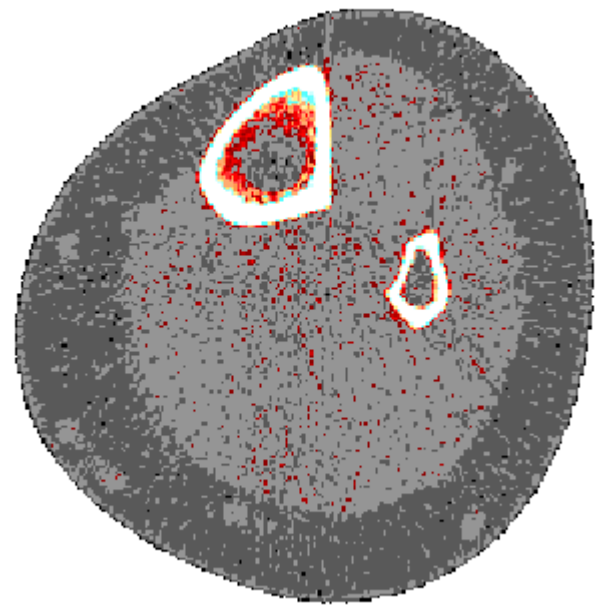
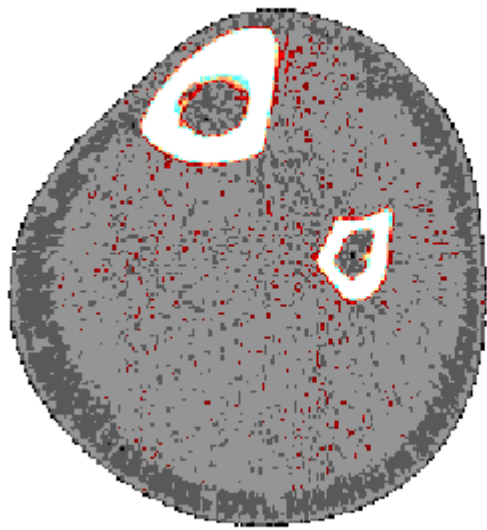


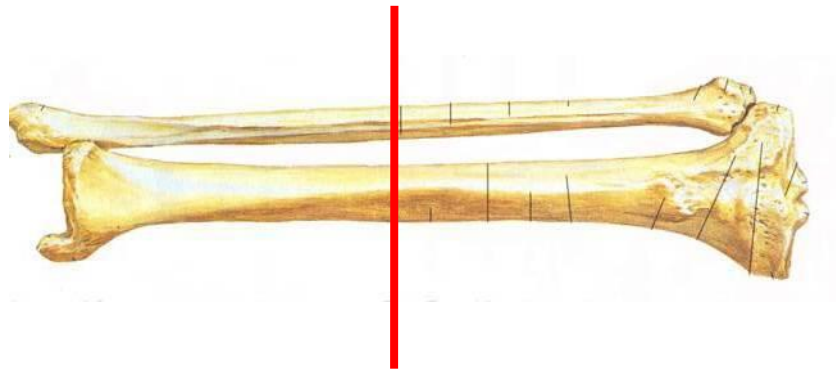
35%



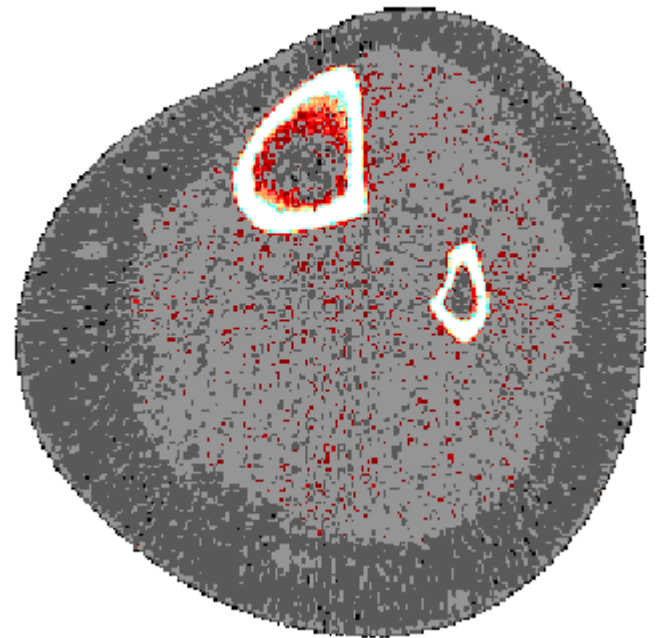
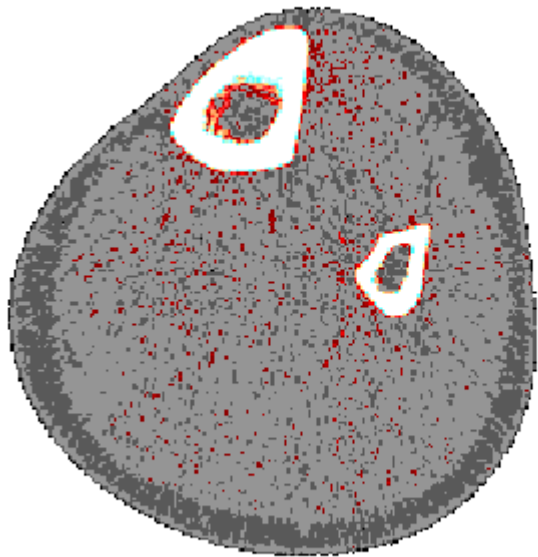


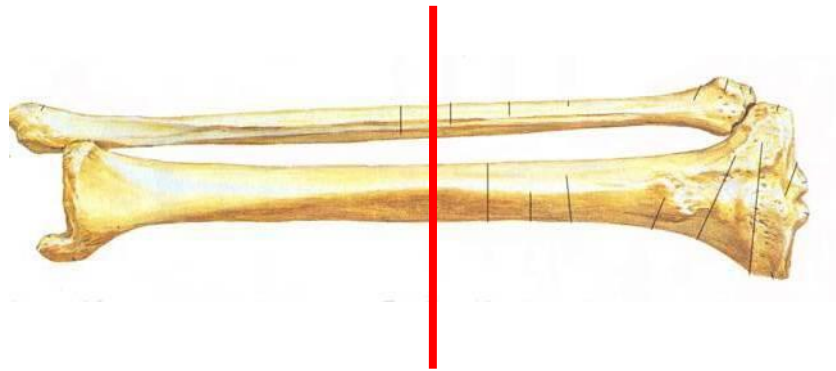
40%



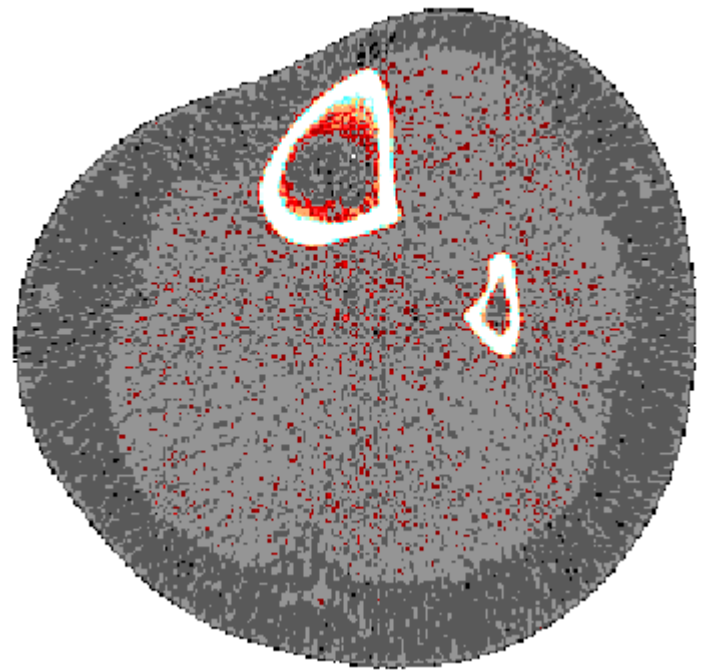
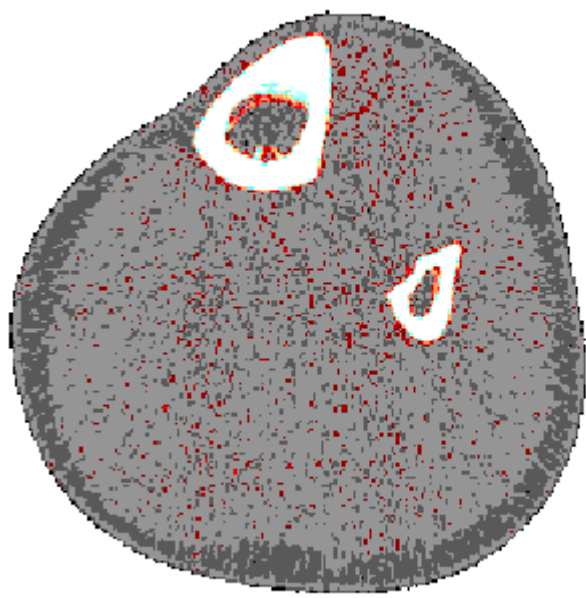


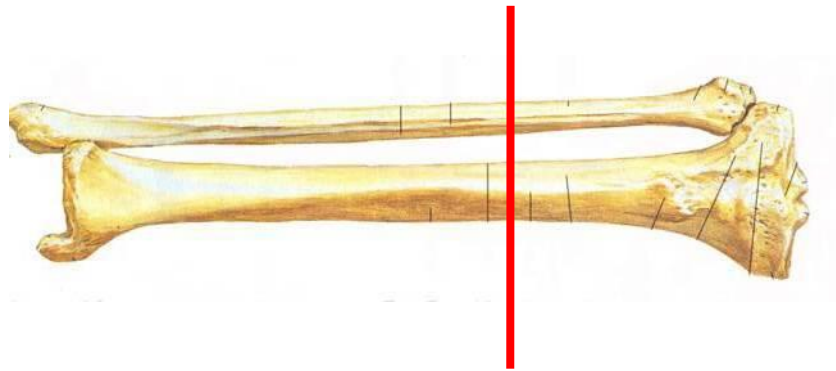
45%



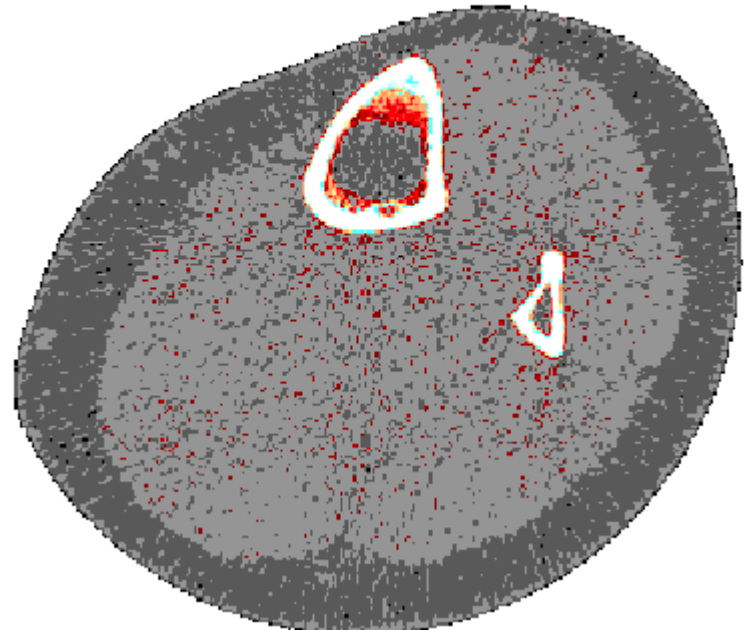
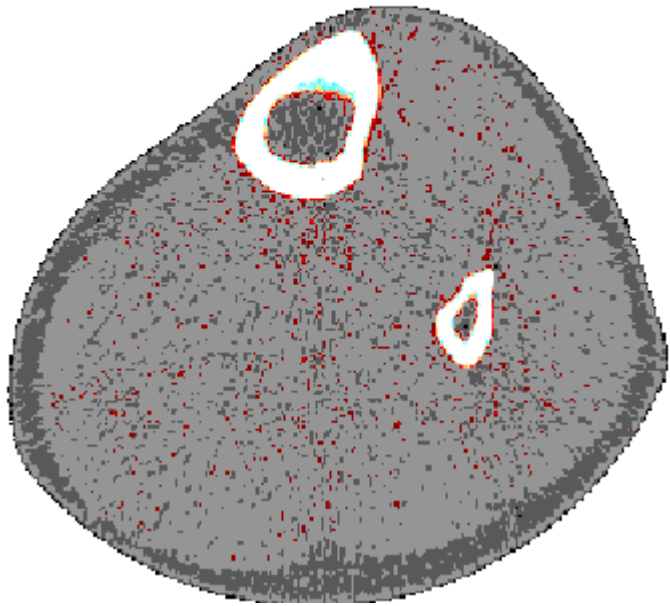


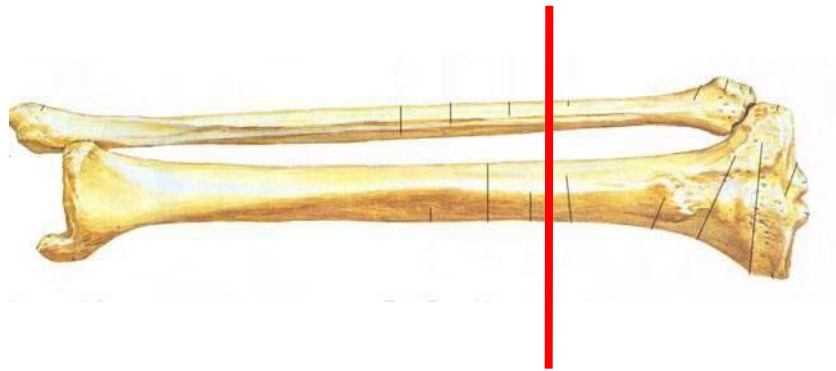
50%



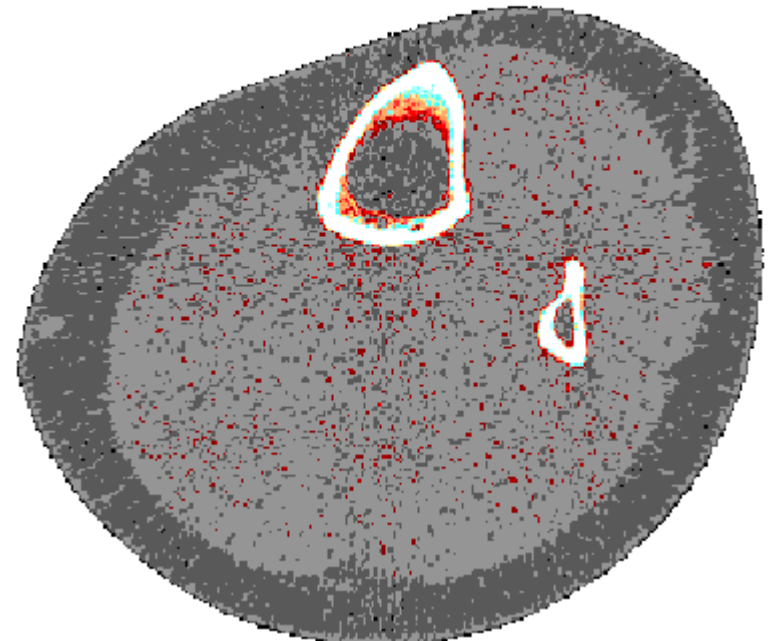
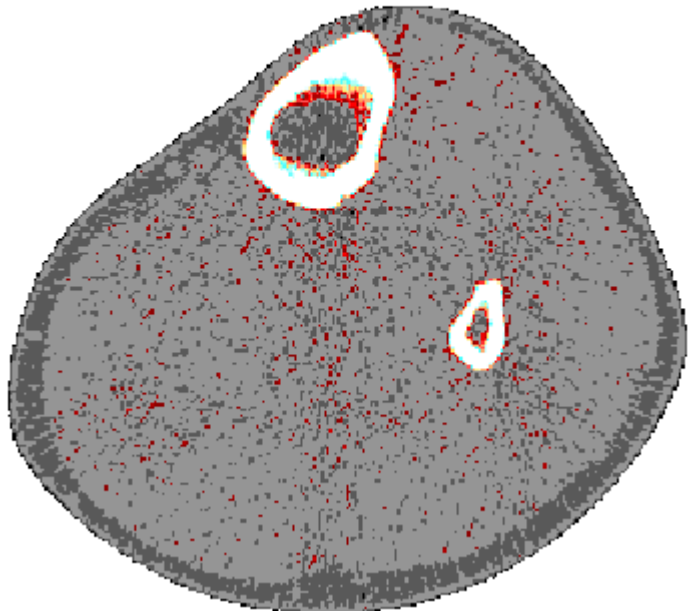


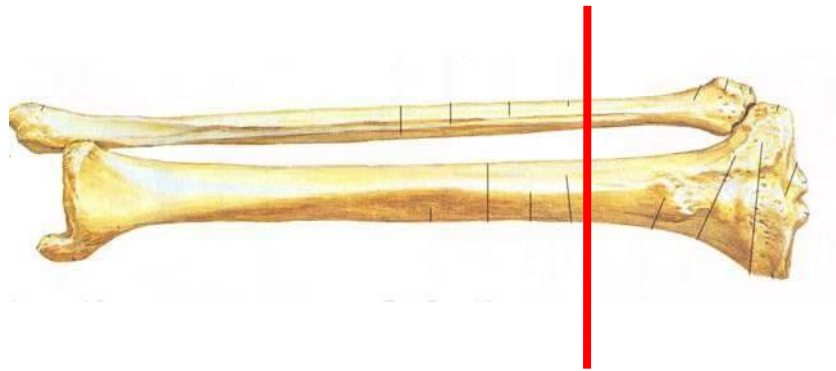
60%



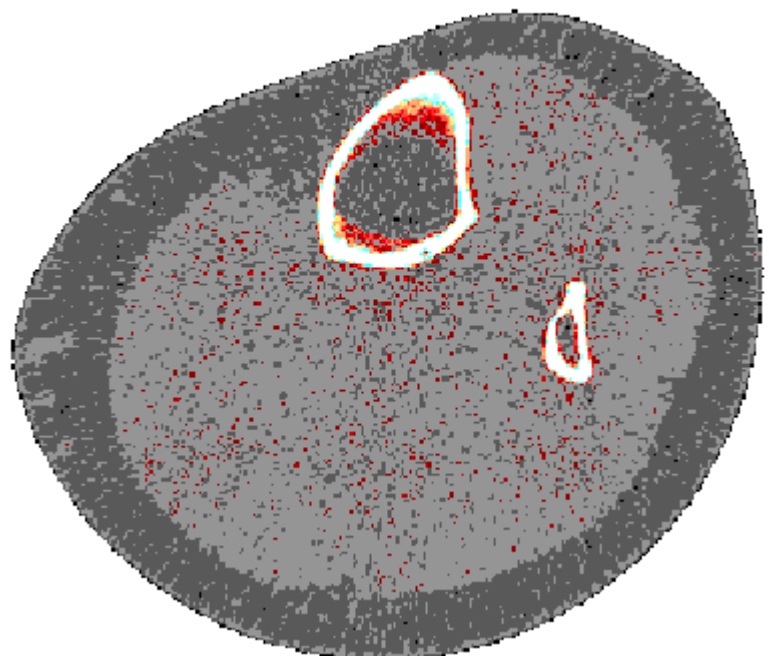
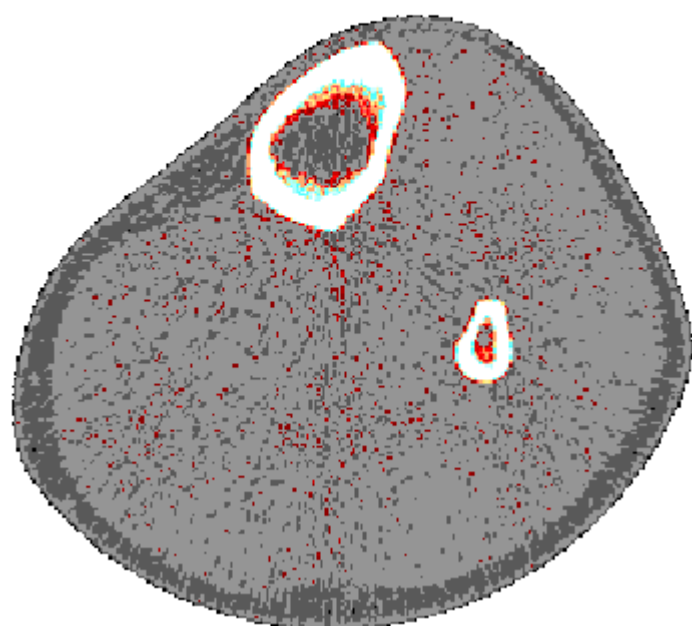


65%



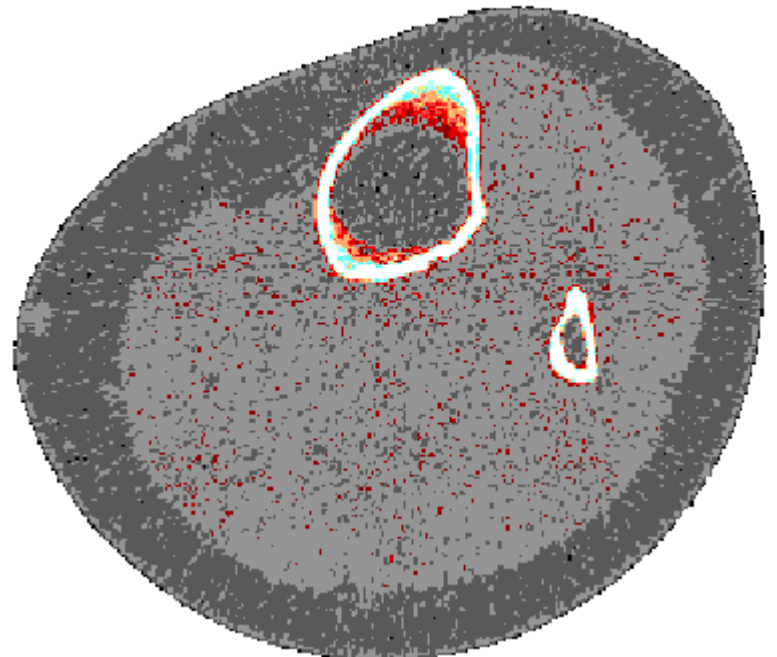
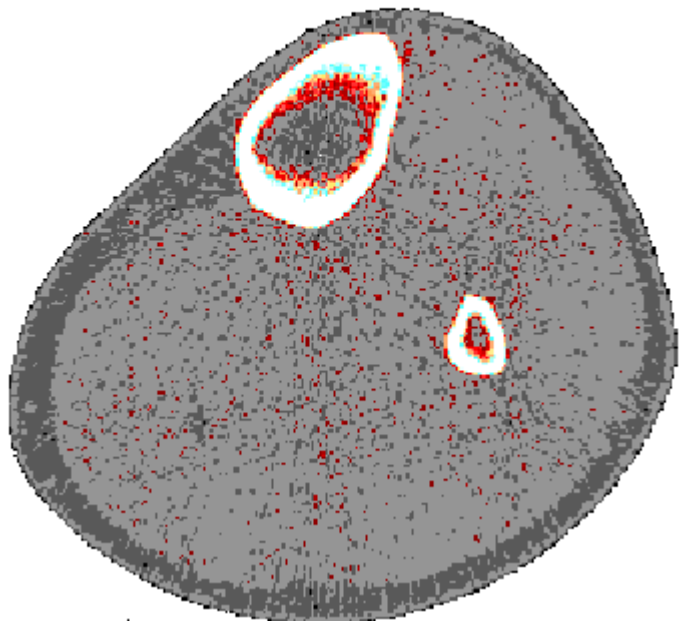


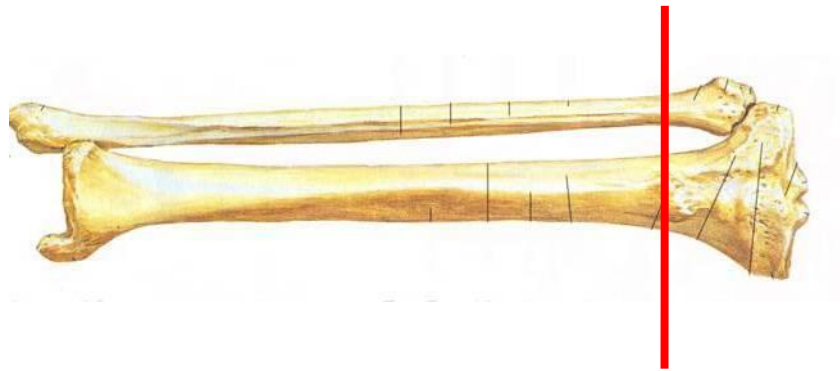
70%



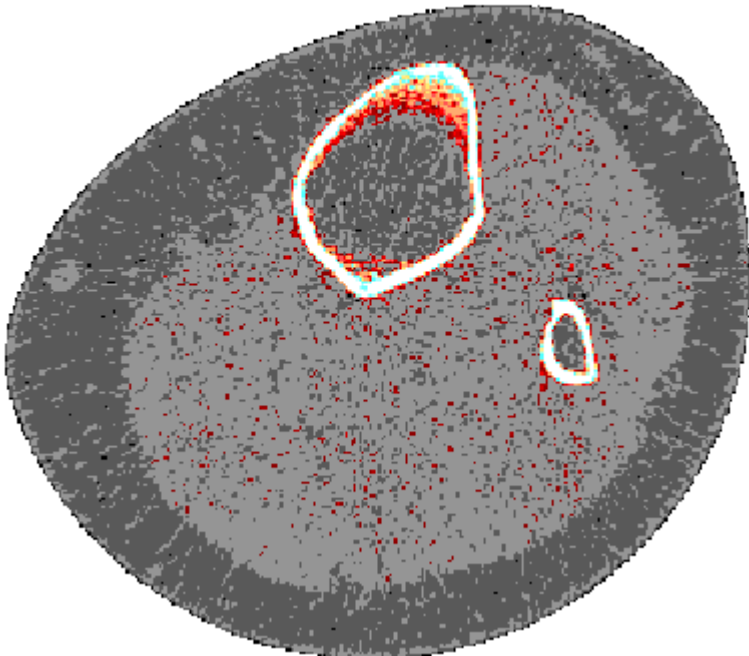
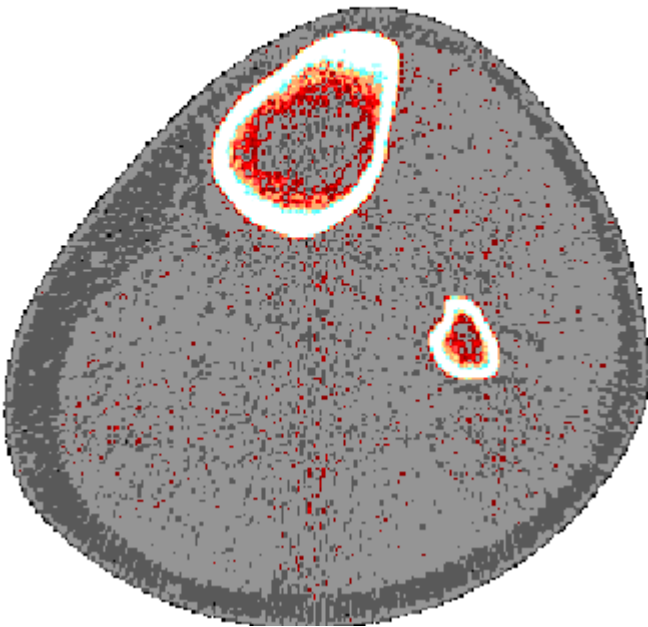


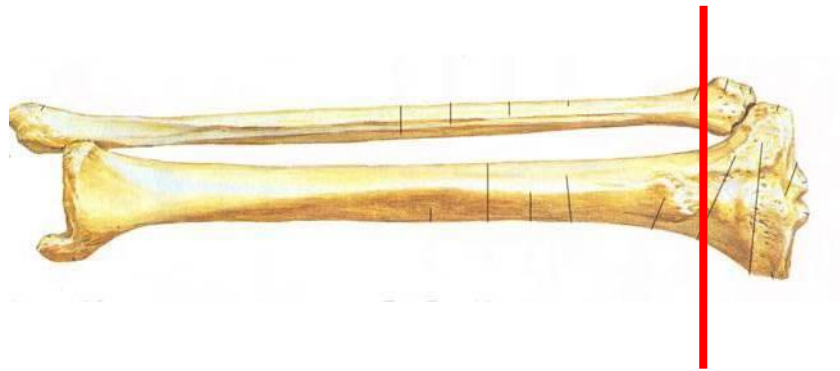
75%



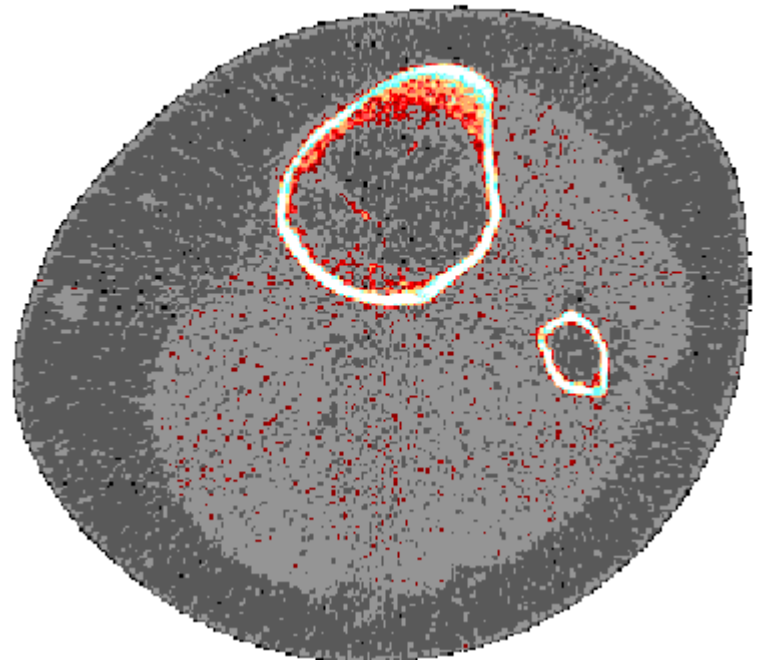
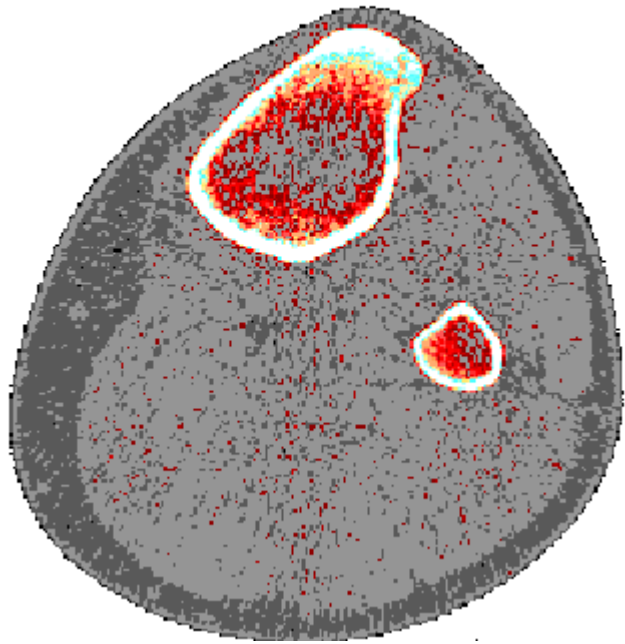


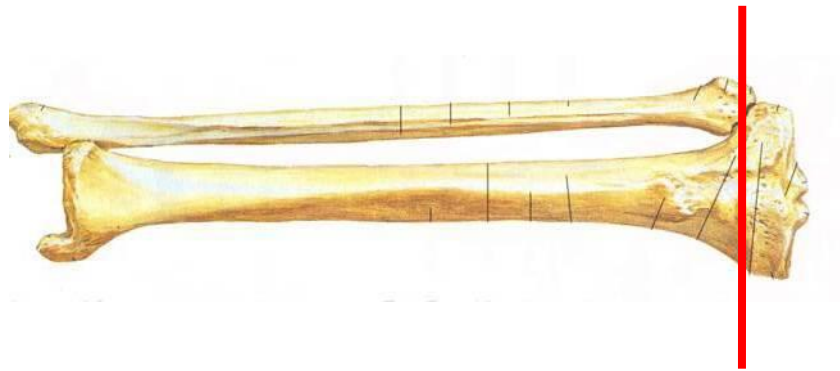
85%



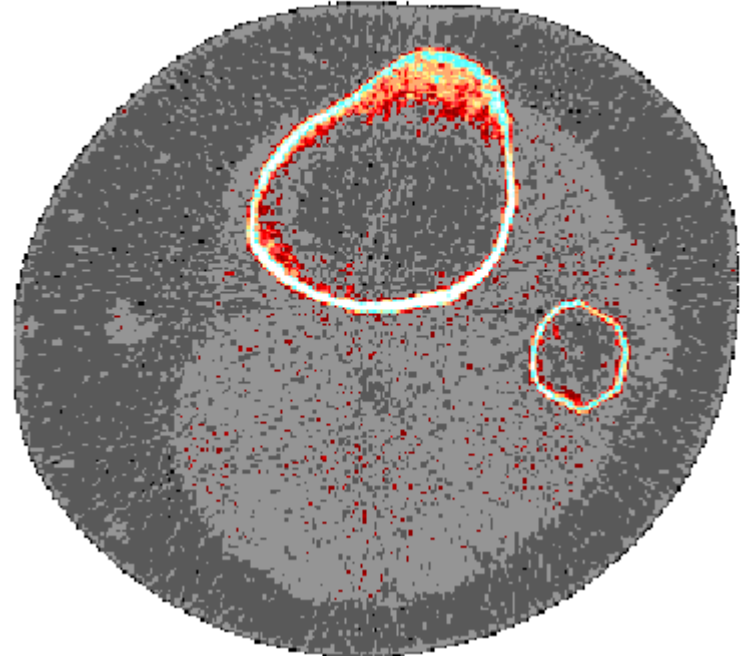
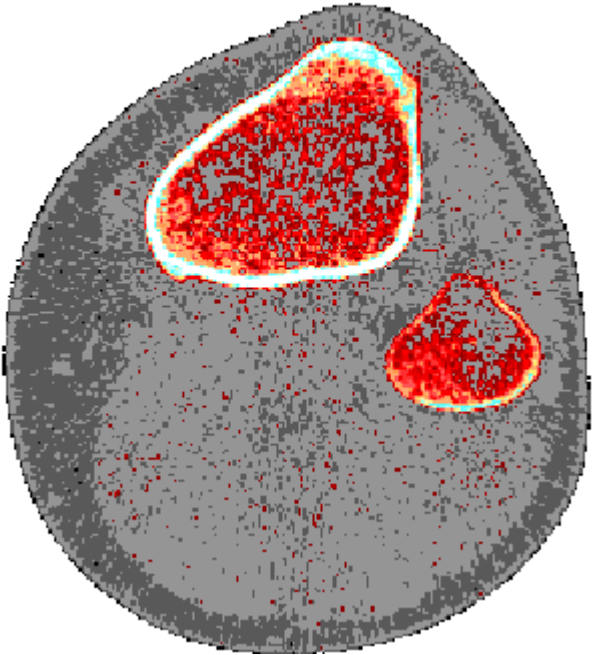


85%



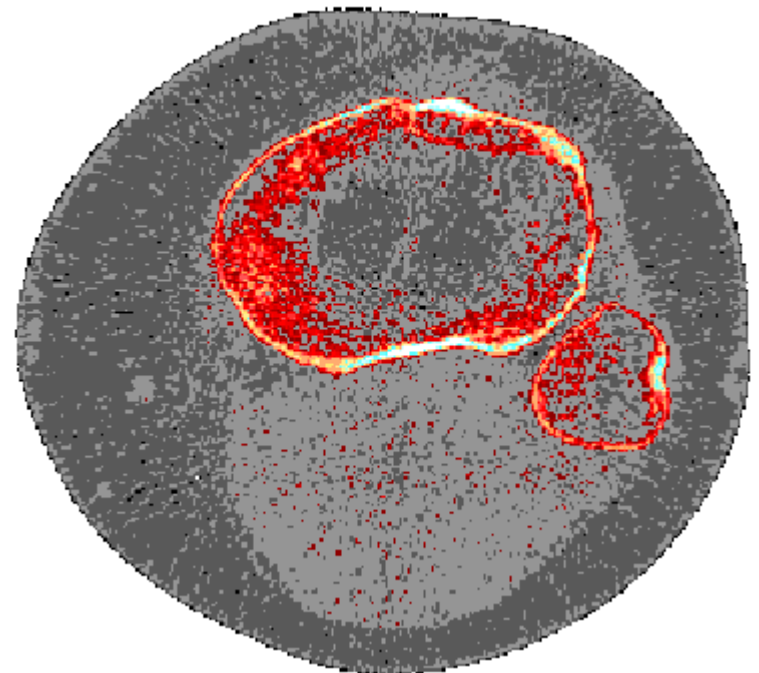
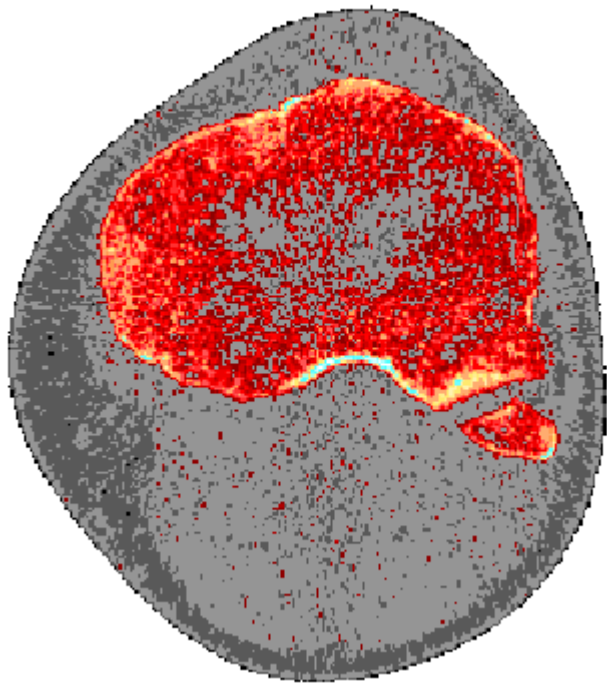


90%

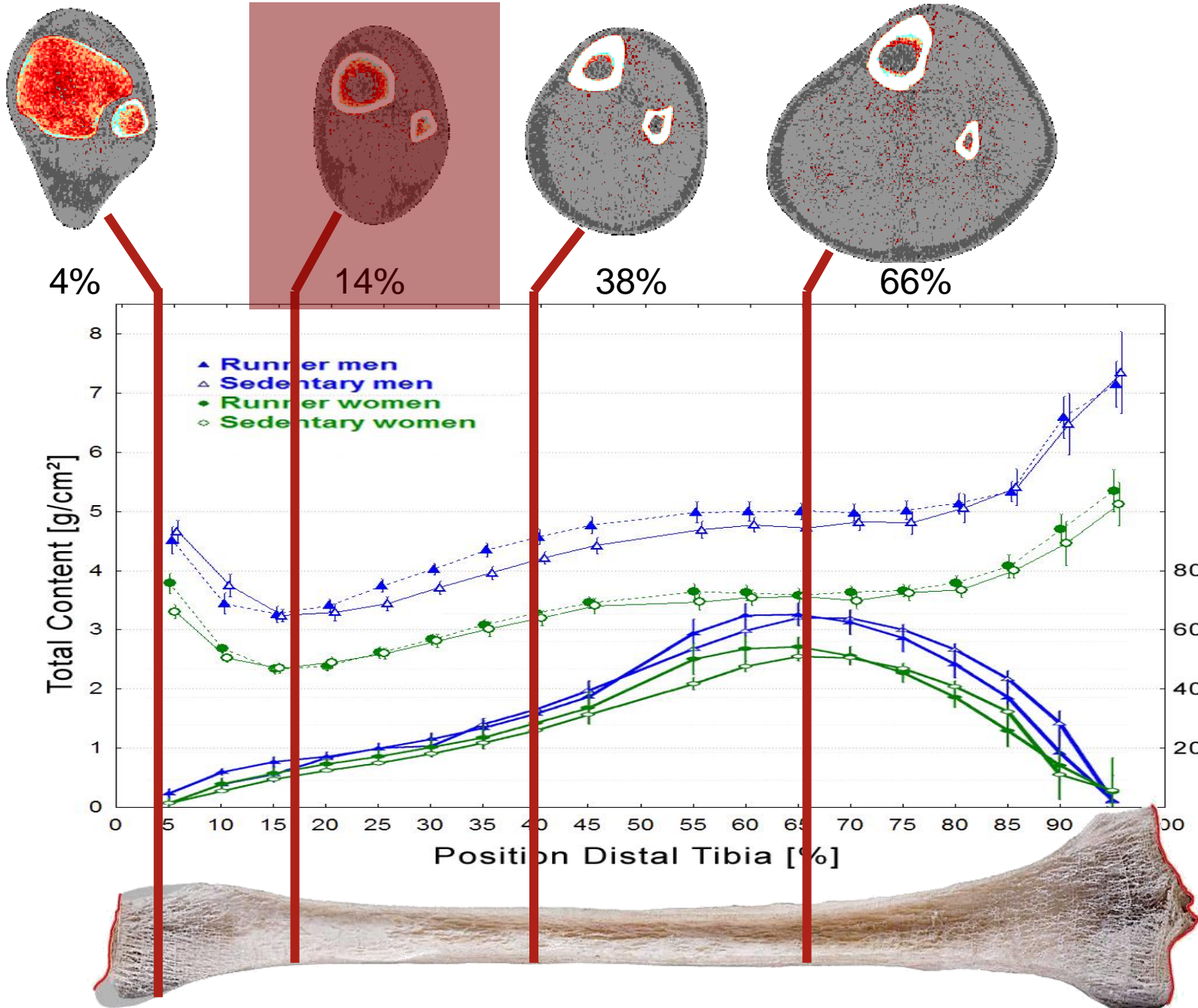




95%

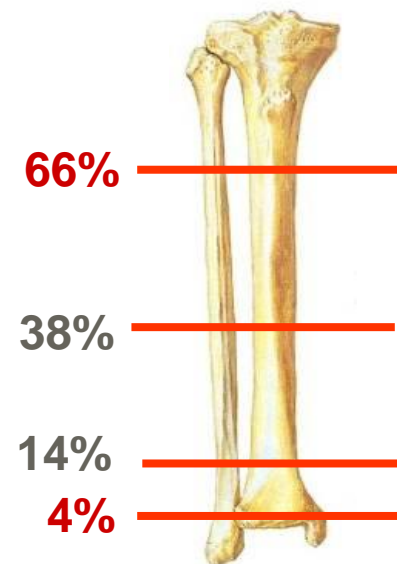


Zonele de măsurare la nivelul tibiei



De ce măsurăm la 4, 14, 38 și 66% de la capătul distal al tibiei?

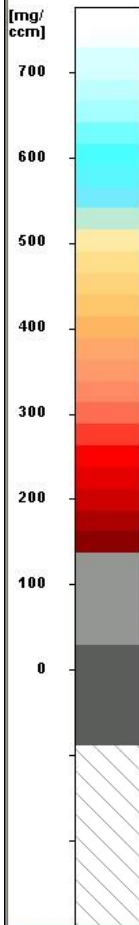
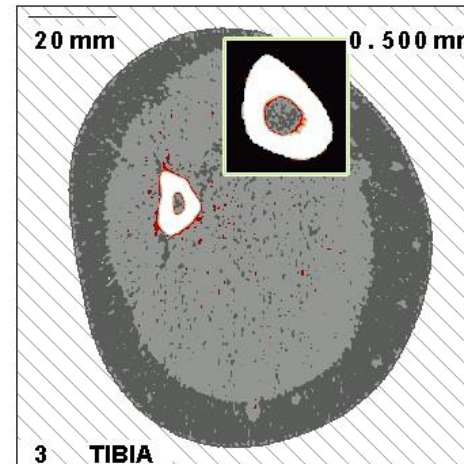
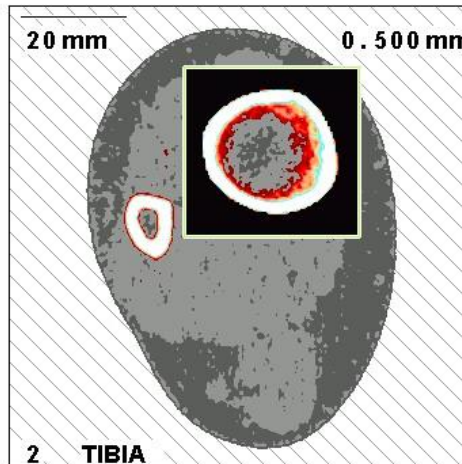
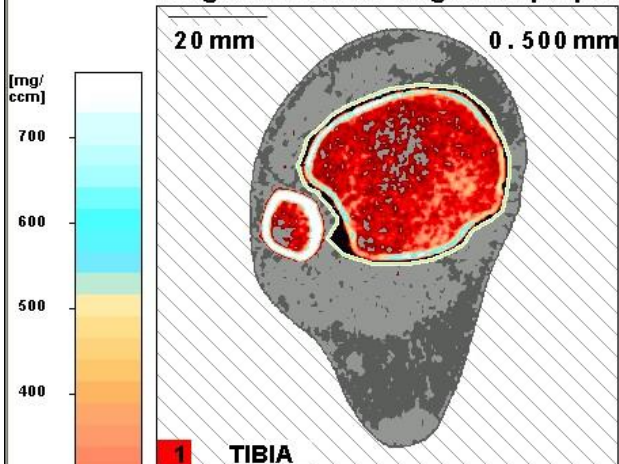
- Poziția de 4%: Densitatea trabeculară la nivelul articulației
(Transferul de forțe către articulație)
Permite detectarea cea mai timpurie
a pierderii de masă osoasă
- Poziția de 14%: Cea mai scăzută masă osoasă
de-a lungul tibiei
- Poziția de 38%: Oase pur cortical
predominant compresie
- Poziția de 66%: Măsurarea zonelor de os, mușchi
și grăsime



Name : N T
 CT No. : 0020260 LEFT Slice 1/6
 Birth : 22.12.1962 Pat.#:20180; xp600

Height; Weight: 175;65 cm;kg
 Object length : 365.0 mm female
 Scan date : 18.10.2004 Age : 41

Images are not for diagnostic purposes



1 TIBIA

TIBIA	4.00 %
CBD C1/P1 Th 180 A% 45	
Mass1	2.77 g/cm
Tot. Area1	1099.25 mm ²
Tot. Density1	252.27 mg/cm ³
Trb. Density1	203.42 mg/cm ³
Bending Test Length	200.00 mm
Bone Ultimate Strength	180.00 MPa

2 TIBIA

TIBIA	14.00 %
CBD C1/P1 Th 280 A% 100	
CORT C1 Th 711	
SSI C1 Th 280	
Mass2	2.30 g/cm
SSIPOL2	1542.32 mm ³
Tot. Area2	491.75 mm ²
Cort. Density2	1101.41 mg/cm ³
Cort. Area2	142.50 mm ²
Fracture Load X3	2978.54 N
Fracture Load Y3	2668.26 N
Mode = Bone Contour	

3 TIBIA

TIBIA	38.00 %
CBD C1/P1 Th 280 A% 100	
CORT C1 Th 711	
SSI C1 Th 280	
Mass3	3.23 g/cm
SSIPOL3	1417.45 mm ³
Tot. Area3	360.00 mm ²
Cort. Density3	1163.42 mg/cm ³
Cort. Area3	259.25 mm ²
Mass1/Mass3 Ratio	0.86
CrtArea2/TotArea1 Ratio	12.96 %
Fracture Load X:v; Y:-->	

CONTINUE **ESCAPE**

ROI CALCBD CORTBD CONCPEEL HISTO SSI LOOP DENSITY **TABLE** OK

MENU / ANALYSIS / RESULTS Used Mem.: 368 [kB] 07.09.2010 14:57

Name : N T
 CT No. : 0020260 LEFT Slice 4/6
 Birth : 22.12.1962 Pat.#:20180; xp600

Height; Weight: 175;65 cm;kg
 Object length : 365.0 mm female
 Scan date : 18.10.2004 Age : 41

Images are not for diagnostic purposes

[mg/
cm]

700

600

500

400

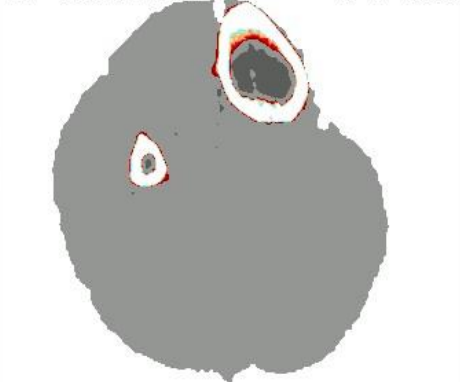
300

200

100

0

20 mm F03F05 0.500 mm



4 MUSCLE+BONE AR.

MUSCLE+BONE_AR. 66.00 %
 CBD C3/P1 Th 41 A% 100

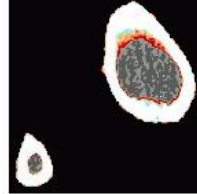
Tot. Area1 6769.00 mm²

Muscle Density 71.92 mg/cm³

Muscle Area 6080.00 mm²

Fat Area 2961.25 mm²

20 mm 0.500 mm



5 BONE AREA

BONE_AREA 66.00 %
 CBD C1/P2 Th 280 100 A% -
 CORT C1 Th 711
 SSI C1 Th 280

Mass2 4.23 g/cm

SSIPOL2 3634.15 mm³

Tot. Area2 689.00 mm²

Cort. Density2 1116.39 mg/cm³

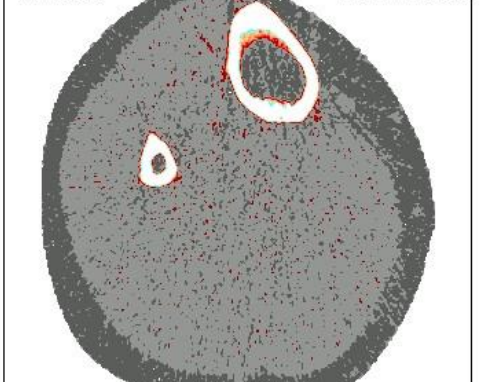
Cort. Area2 (=Bone Area) 329.25 mm²

Marrow Density 14.83 mg/cm³

Marrow Area 228.00 mm²

Mode = Muscle Contour

20 mm 0.500 mm



6 TOTAL AREA

TOTAL_AREA 66.00 %
 CBD C3/P1 Th -52 A% 100

SSI C1 Th 280

SSIPOL3 3634.15 mm³

Tot. Area3 9730.25 mm²

Fat+Muscle Density 49.68 mg/cm³

Bone/Muscle Area Ratio 5.42 %

Fat/Muscle Area Ratio 48.70 %

Fracture Load X:v; Y:-->

CONTINUE

ESCAPE

ROI

CALCBD

CORTBD

CONCPEEL

HISTO

SSI

LOOP

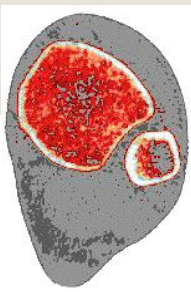
DENSITY

TABLE

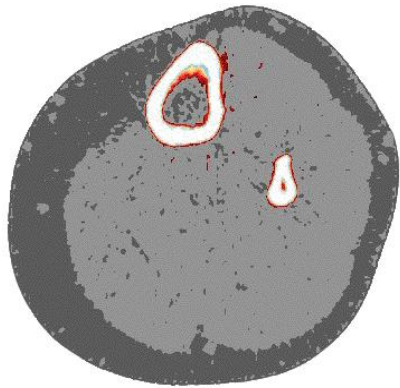
OK

MENU / ANALYSIS / RESULTS

Used Mem.: 368 [kB] 07.09.2010 14:57

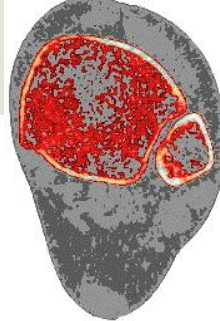


Trabecular density
235 mg/cm³

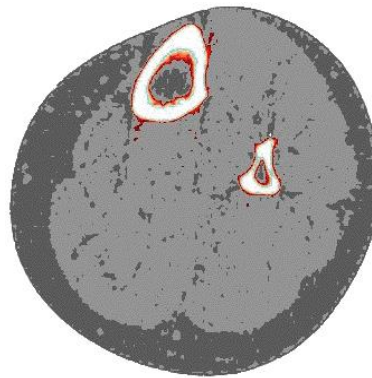


Bone-muscle
ratio 5.6%

female, 60 y
Diagnosis:
normal
Physiologically
adapted



Trabecular density
153 mg/cm³

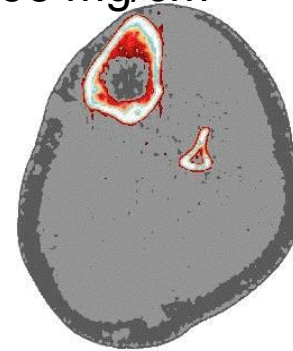


Bone-muscle
ratio 4.5%

female 61 y
Diagnosis:
Osteopenia
Immobilisation

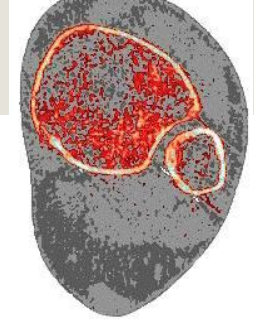


Trabecular
density
96 mg/cm³

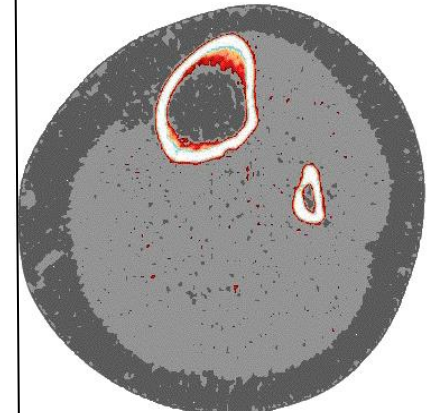


Bone-muscle
ratio 2.6%

female 74 y
Diagnosis:
Senile
Osteoporosis



Trabecular density
140 mg/cm³

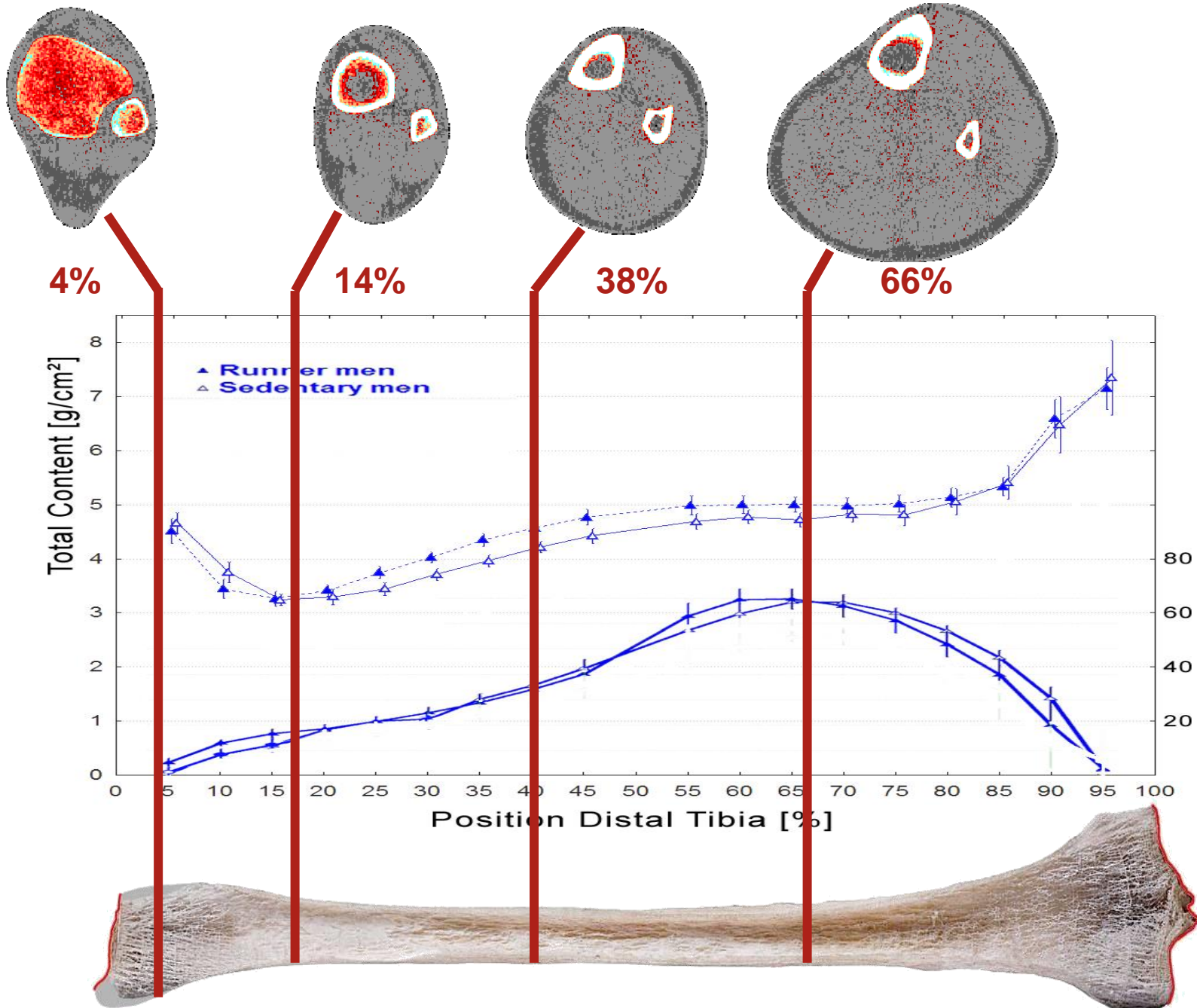


Bone-muscle
ratio 3.9%

female 40 y
Diagnosis:
Osteoporosis

Zonele de măsurare și parametrii rezultati

Zonele de măsurare la nivelul tibiei



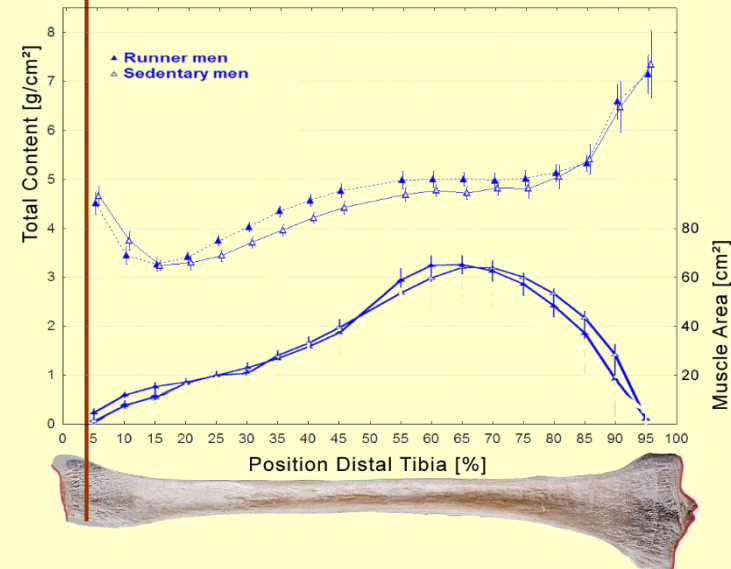
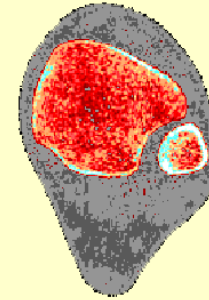
Zona de măsurare la 4% de la capătul distal al tibiei

- **Proprietățile de interes**

- Densitate trabeculară
- Schimbările sunt predominante în această zonă
- Schimbările pot fi observate prima dată în această zonă

- **Focalizarea analizei:**

- Pierdere de masă osoasă
- Detectarea precoce a schimbărilor

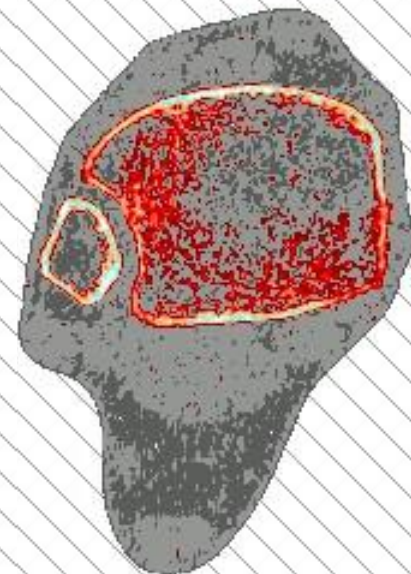
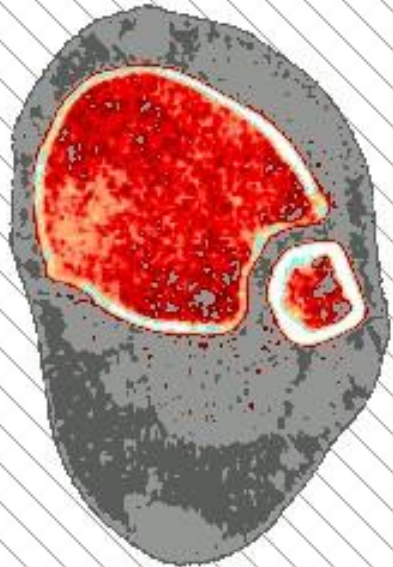


Exemple de densitate trabeculară

Sănătos
235 mg/cm³

Osteopenie
153 mg/cm³

Osteoporoza
96 mg/cm³

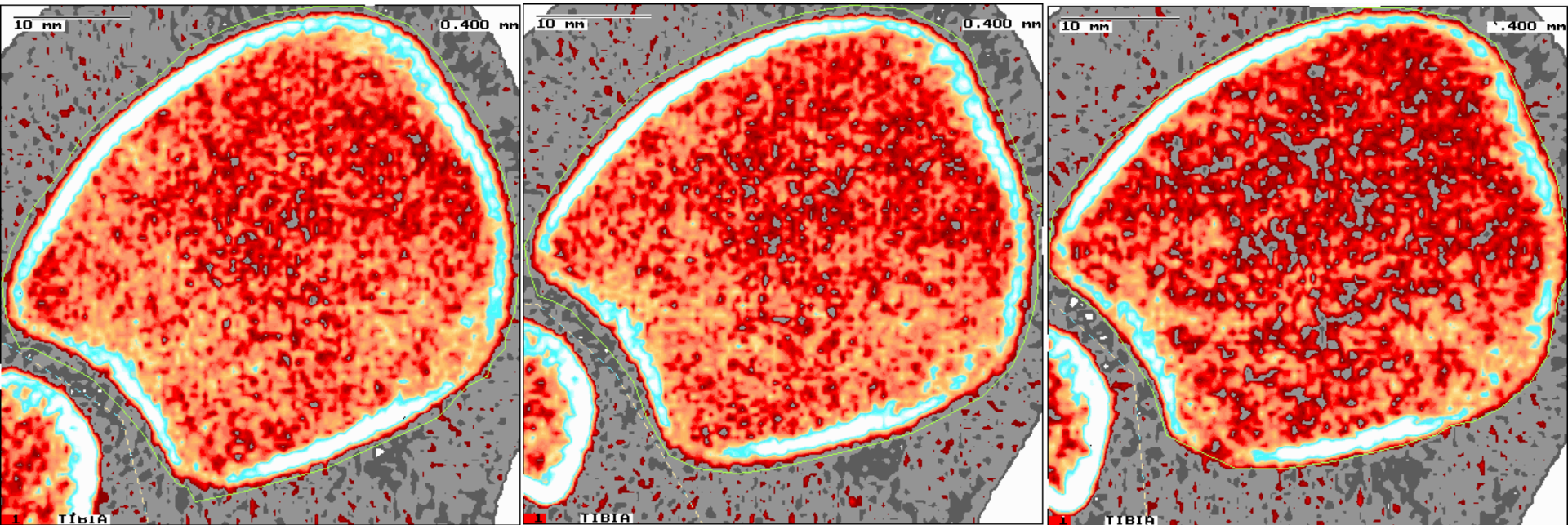


Imobilizare pentru 3 luni (tibie distală) (Studiu de repaus la pat cu astronauți.)

22.8.

3.10.

2.12.



Total

[mg/cm³] 350,7

339,4

299,3

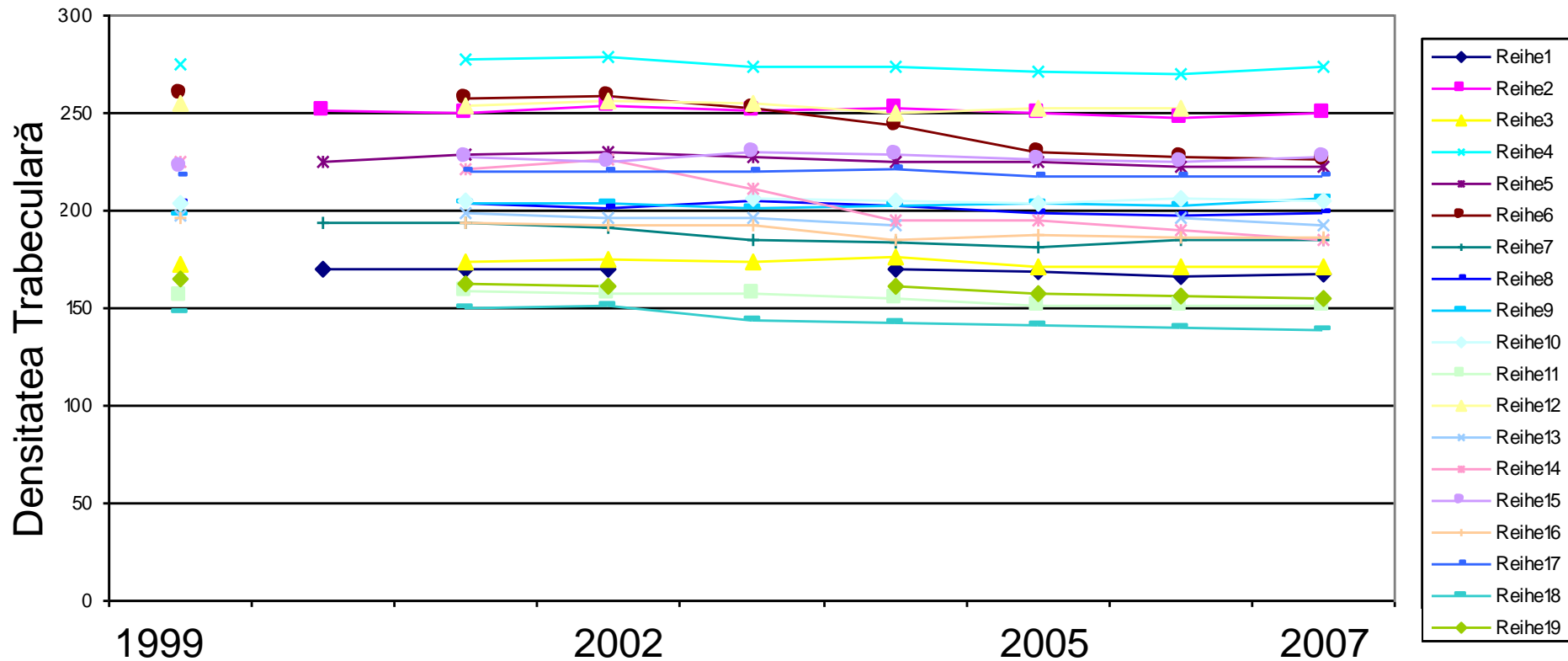
Trab.

[mg/cm³] 279,2

269,8

225,3 (-20%)

Schimbările densității trabeculare pe parcursul a 8 ani



Studiul longitudinal la Esslingen ELAN (n=62, 67 de ani)

Densitate trabeculară (pQCT) la tibia distală

Cazuri consecutive aleatorii, care demonstrează menținerea oaselor odată cu înaintarea în vârstă

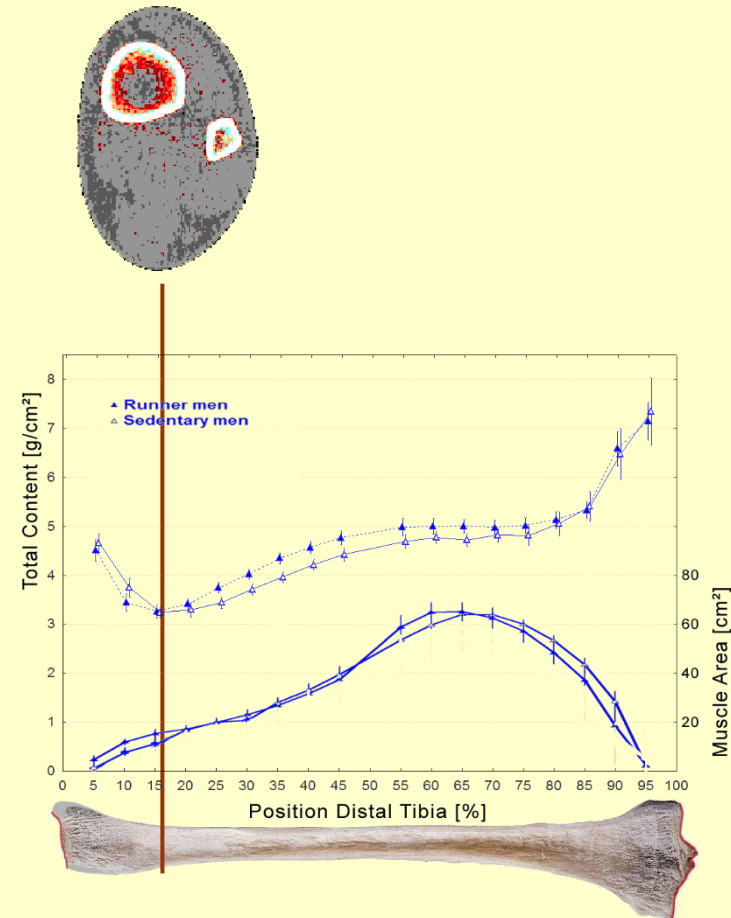
Zona de măsurare la **14%** de la capătul distal al tibiei

- **Proprietățile de interes**

- Cea mai scăzută masă osoasă în această secțiune
- Os cortical

- **Focalizarea analizei:**

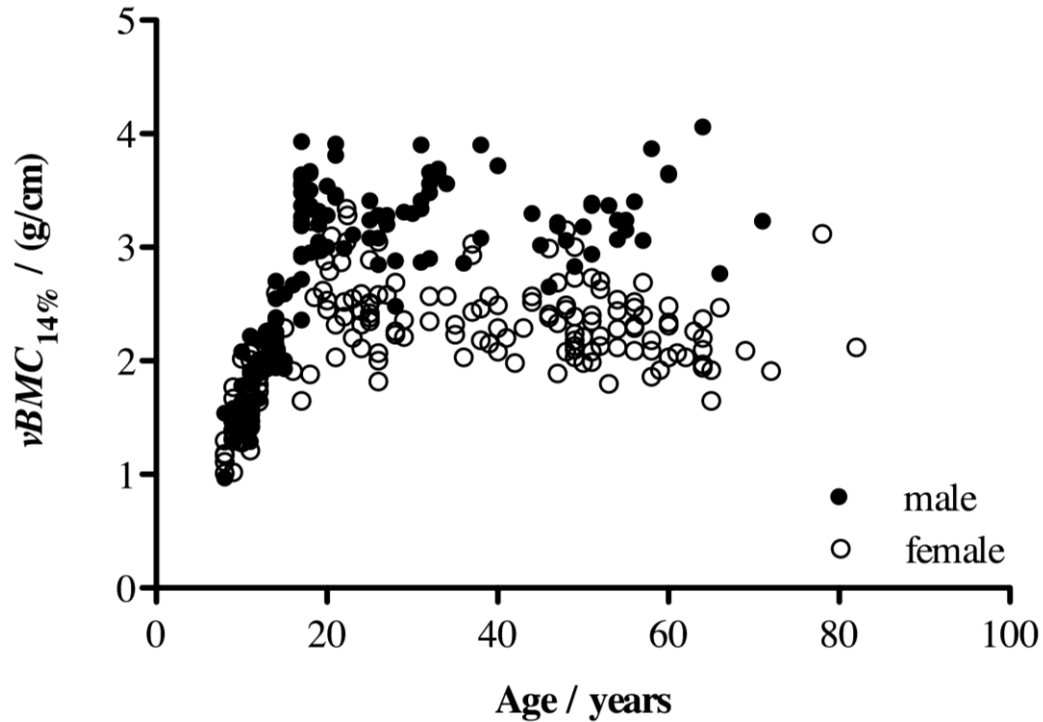
- Cea mai bună corelație cu parametrii funcției musculare



Zona de 14%: Masă osoasă vs. Vârstă

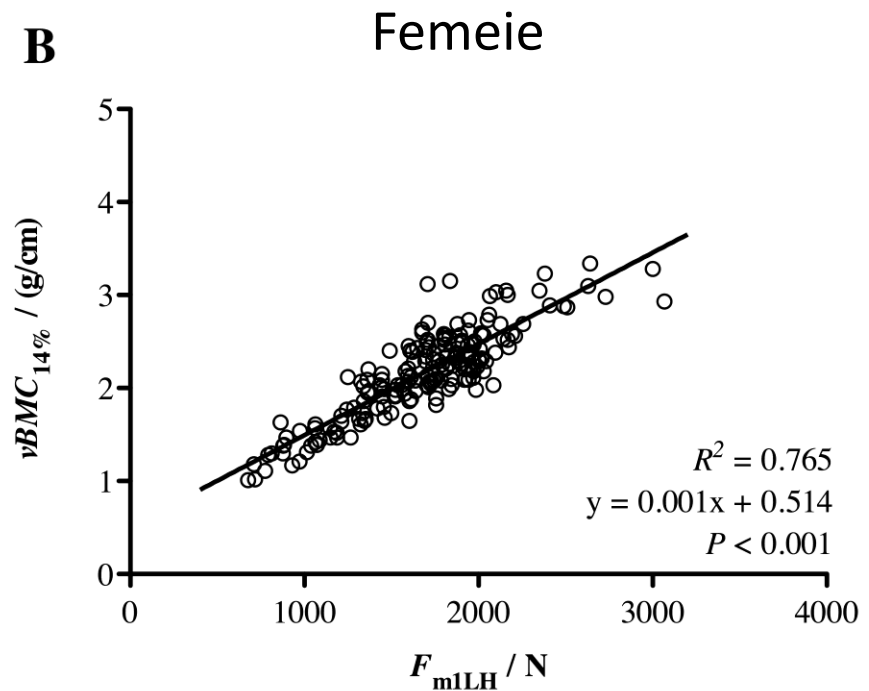
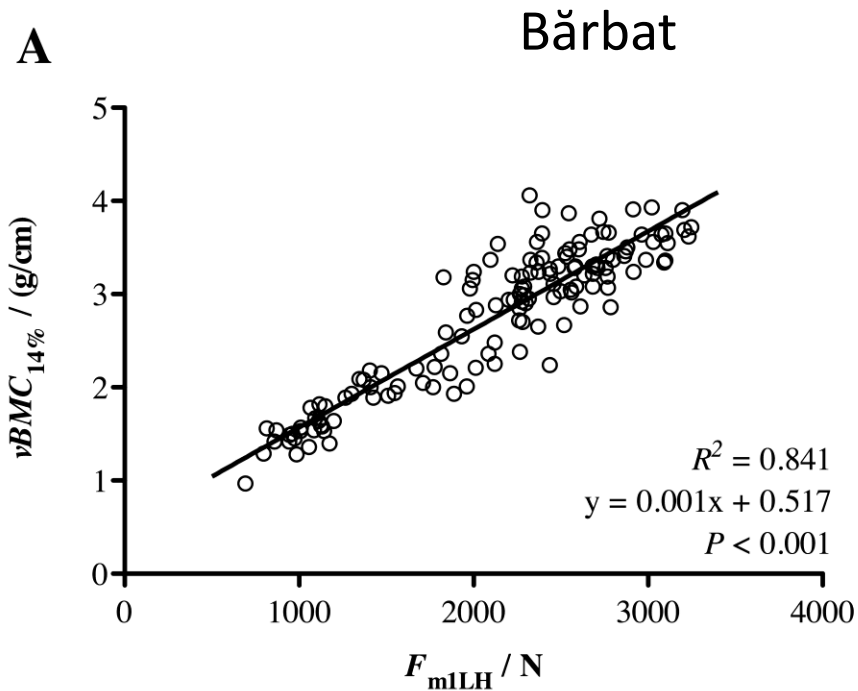
Masă osoasă la 14% din tibia
distalăTibia

B



Forță maximă voluntară vs. Geometrie osoasă

Relație între funcția musculară și parametrii osoși



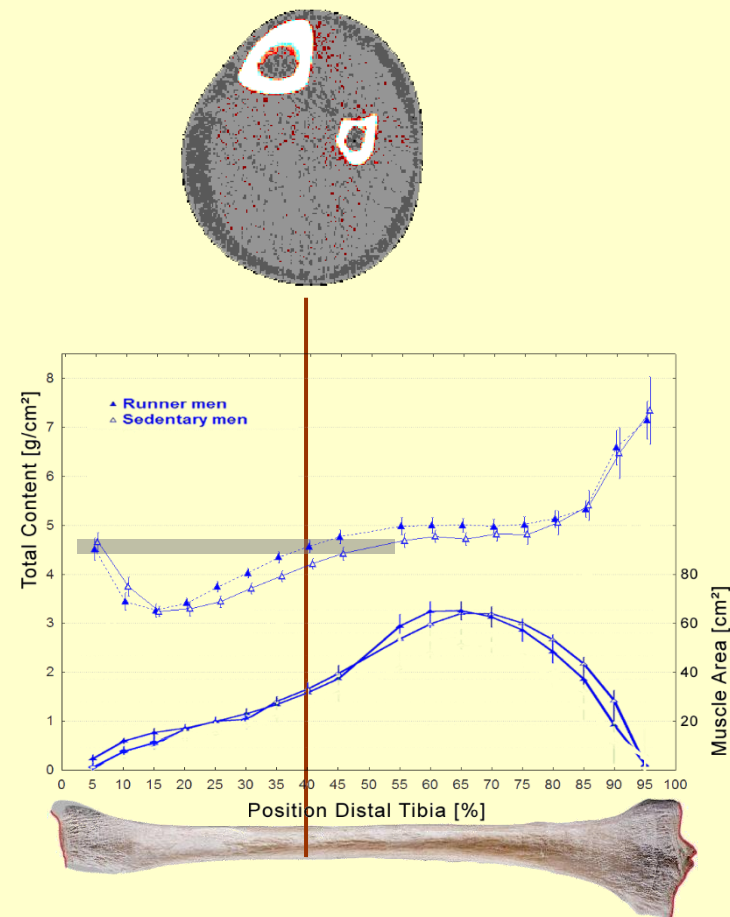
Zona de măsurare la **38%** de la capătul distal al tibiei

- **Proprietățile de interes**

- Masă osoasă identică cu masa osoasă la 4%
- Variații mai mici decât în zona de 4%

- **Focalizarea analizei:**

- Relația dintre masa osoasă de la 4% și masa osoasă de la 38% indică cantitatea sau schimbările în raport cu punctul de proiectare



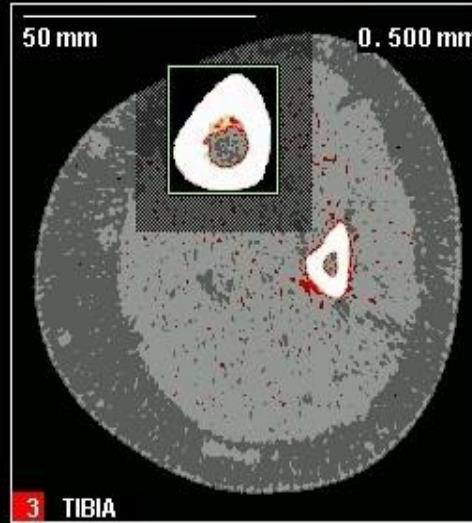
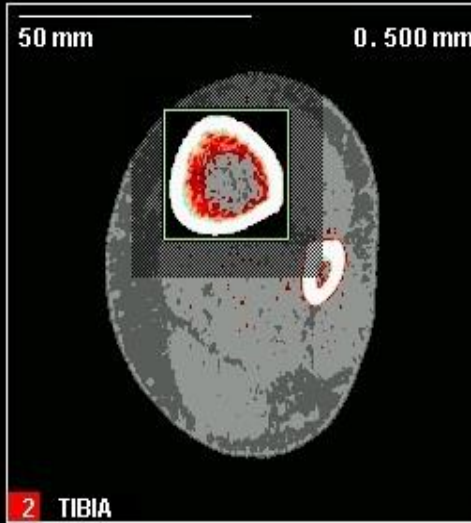
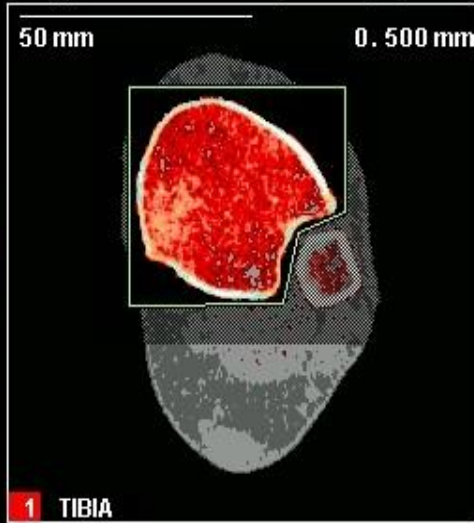
Masă osoasă: 4% Site vs. 38% Site

STRATEC XCT-2002 pQCT™

6.00 B

Name
 CT No. Slice 1/3 Object length : 350.0 mm female
 Birth Pat #:20677 Scan date : 22.02.2002 Age : 60

Images are not for diagnostic purposes



Fracture Load

Total mass epiphysis

14.00 %

Total mass diaphysis

Mass1 3.31 g/cm SSIPOL2 1314.66 mm³
 TOTAREA1 1184.75 mm² TOTAREA2 444.50 mm²
 TOTDEN1 279.56 mg/cm³ CrtDen2 1126.22 mg/cm³
 TrbDen1 235.24 mg/cm³ CRTAREA2 155.25 mm²

Mass2 2.42 g/cm SSIPOL3 1475.80 mm³
 TOTAREA3 354.50 mm²
 CrtDen3 1183.57 mg/cm³
 CRTAREA3 249.50 mm²

Mass3 3.22 g/cm SSIPOL3 1475.80 mm³
 TOTAREA3 354.50 mm²
 CrtDen3 1183.57 mg/cm³
 CRTAREA3 249.50 mm²

Trabecular density

Bending Test Length 200.00 mm
 Bone Ultimate Strength 180.00 MPa

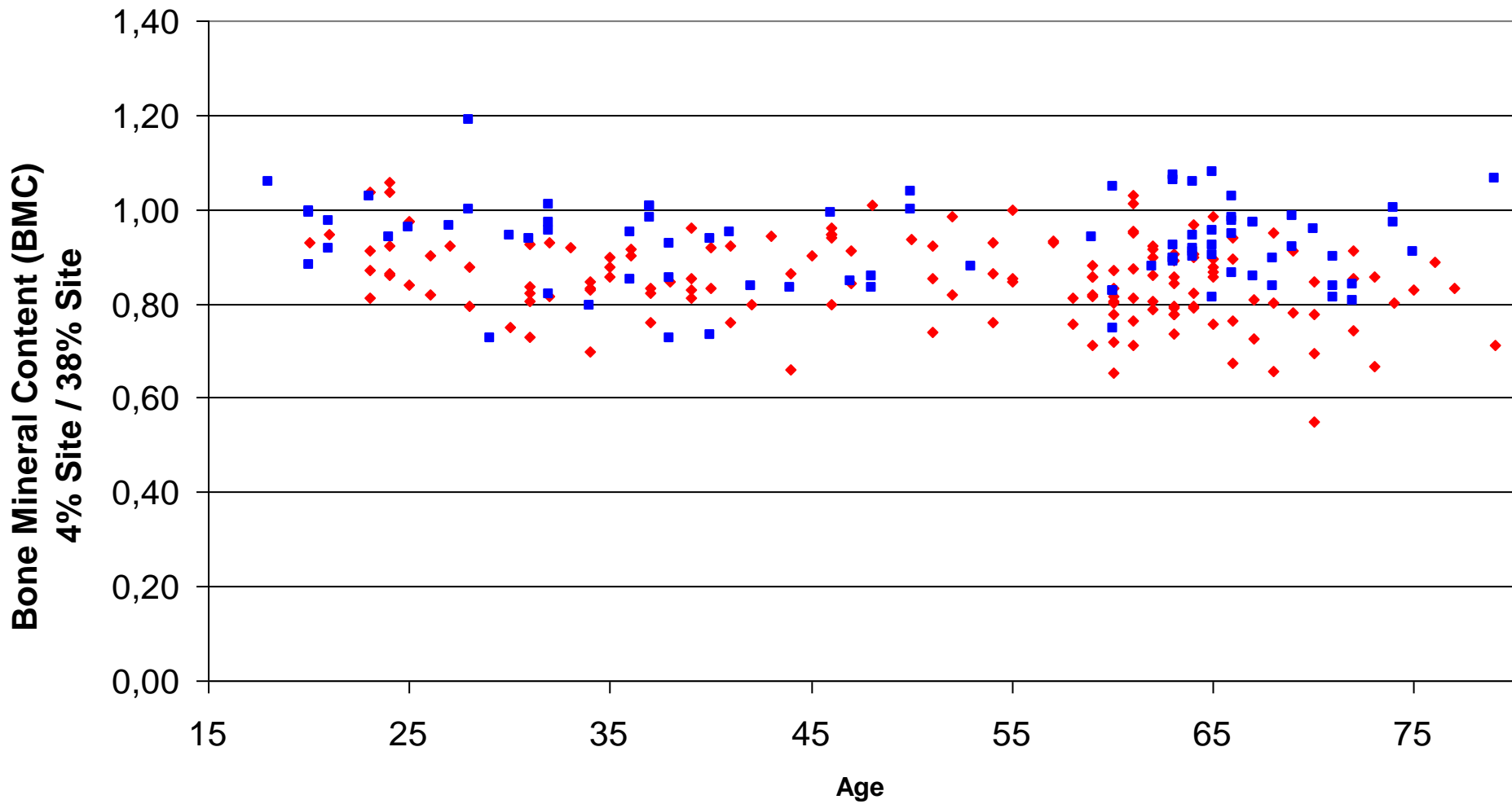
Fracture Load X3 3001.64 N
 Fracture Load Y3 2667.84 N

Mass1/Mass3 Ratio 1.03
 CrtArea2/TotArea1 Area Ratio 13.10 %

Mode = Bone Threshold

Ratio

Raportul masei osoase: Zona de 4% / Zona de 38% vs. Vârsta



● Female
● Male

Unpublished Data: Runge

Osul ca organ:

Cartilajul articular, osul trabecular și cortical



Forță ↓



Deformare

Forță ↑

Forța cauzează tensiune

Forța cauzează tensiune



Prag de formare

Deformarea tipică este de 0,2%
= 2000 μ Deformație (Strain)

11000N Forța cauzează deformare (tensiune)

Forță



Deformare

2000 μ Strain

**= 0.8 mm pentru o tibie tipică
de 400 mm în lungime**

Prag de formare

deformare tipică de 0,2%

= 2000 μ Strain

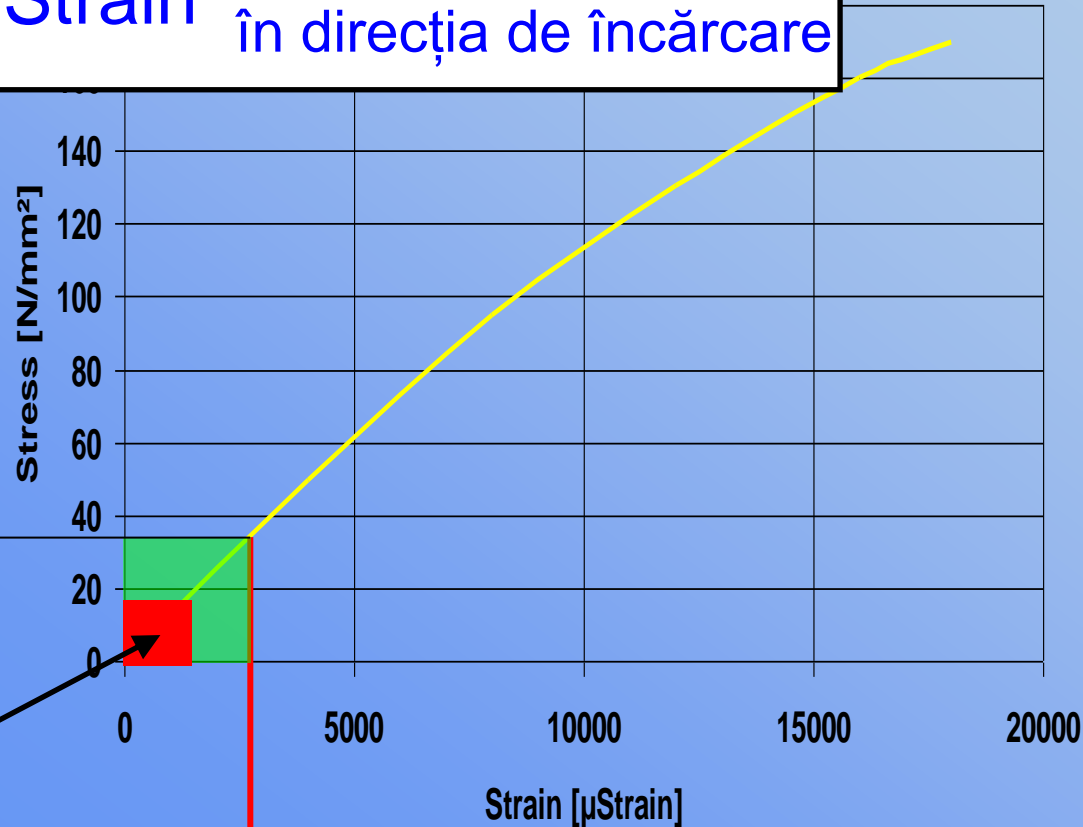
Forță

Modulul de elasticitate pentru materialul osos:

Proprietatea materialului $E = \text{stress} / \text{strain}$

$$E = \frac{30 \text{ N/mm}^2}{0.002 \text{ Strain}} = 15\,000 \text{ N/mm}^2$$

în direcția de încărcare

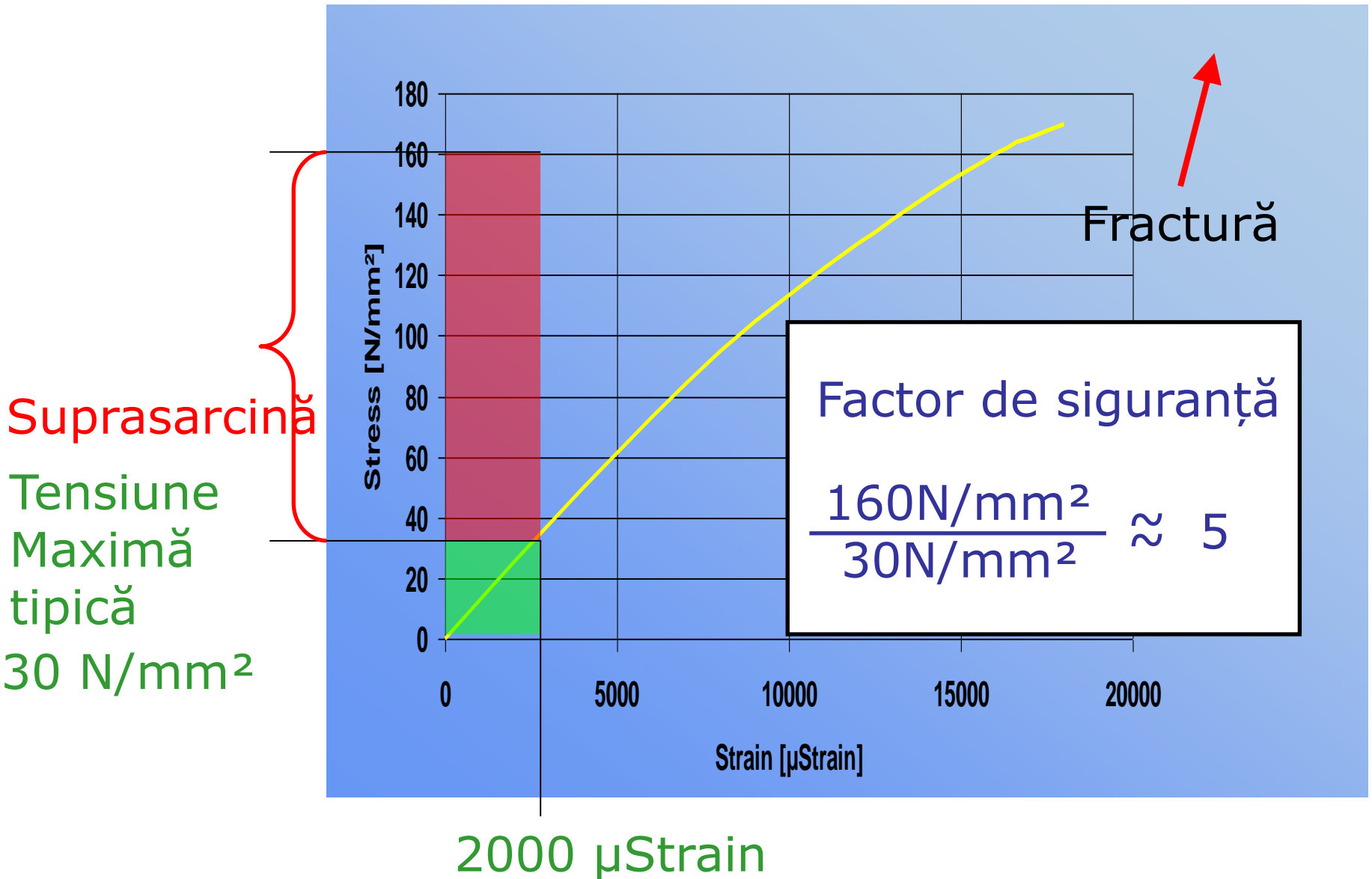


Tensiune
maximă
tipică
30 N/mm²

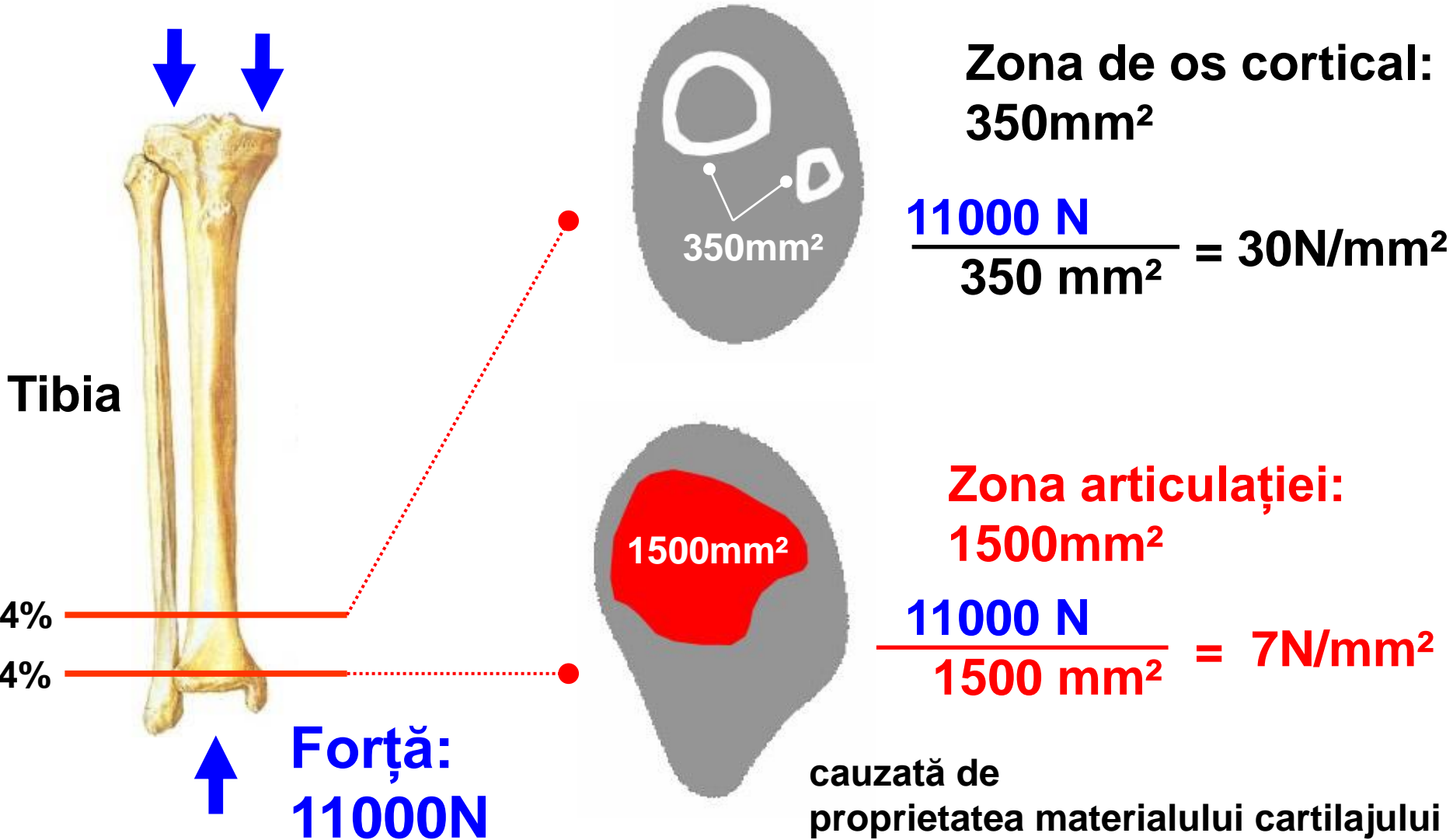
Dezutilizare

2000 μStrain

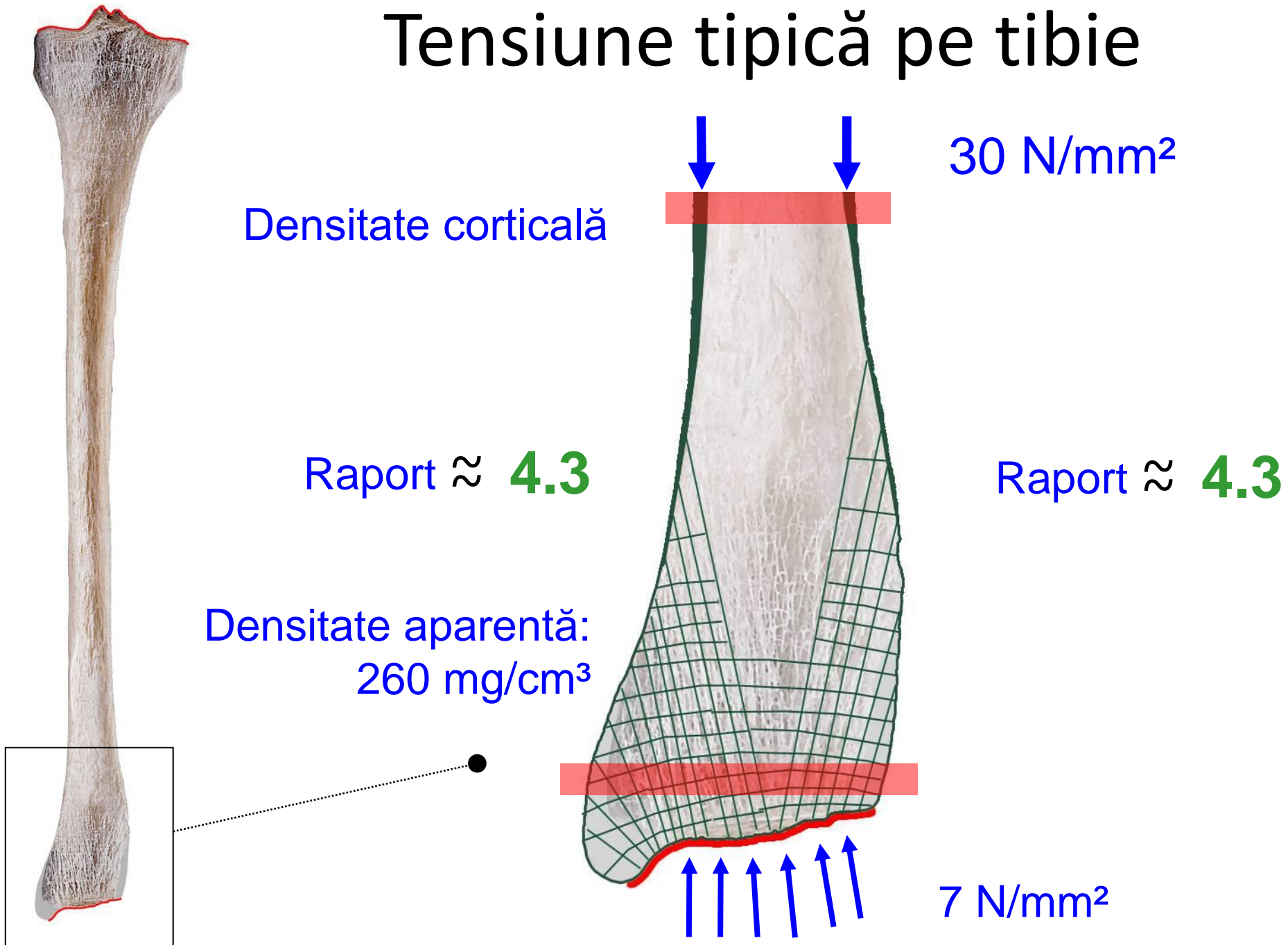
Factorul de siguranță al materialului osos



Tensiune maximă tipică la nivelul articulației și osului



Tensiune tipică pe tibie



Raporturi între cartilajul articular și os



Raport de tensiune:

$$\frac{30 \text{ N/mm}^2}{7 \text{ N/mm}^2} \approx 4.3$$

Raport de densitate

Densitate corticală aparentă:

$$\frac{1150 \text{ mg/cm}^3}{260 \text{ mg/cm}^3} \approx 4.3$$

Densitate trabeculară aparentă



Volum osos / volum de țesut (os total la 4%):

$$\frac{100 \%}{25 \%} = 4.0$$

Consecințele clinice pentru forța maximă

- Stresul și deformarea tolerabile ale cartilajului sunt definite de proprietățile sale constante de material:

$$7 \text{ N/mm}^2$$



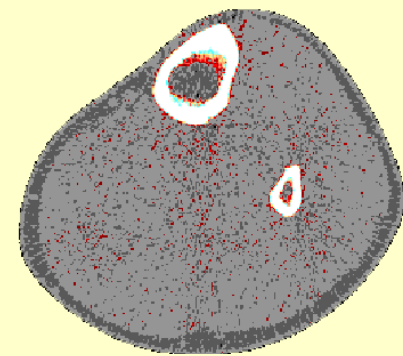
- În perioada pubertății, zona articulației se adaptează la forța maximă: o forță dublă necesită o zonă a articulației dublă
- După perioada pubertății, creșterea zonei articulației nu mai este posibilă
- Valoarea absolută a forței maxime voluntare este fixată la sfârșitul perioadei de pubertate
- Forța trebuie controlată prin tensiometre (organul Golgi)

Zona de măsurare la **66%** de la capătul distal al tibiei

- **Proprietățile de interes**

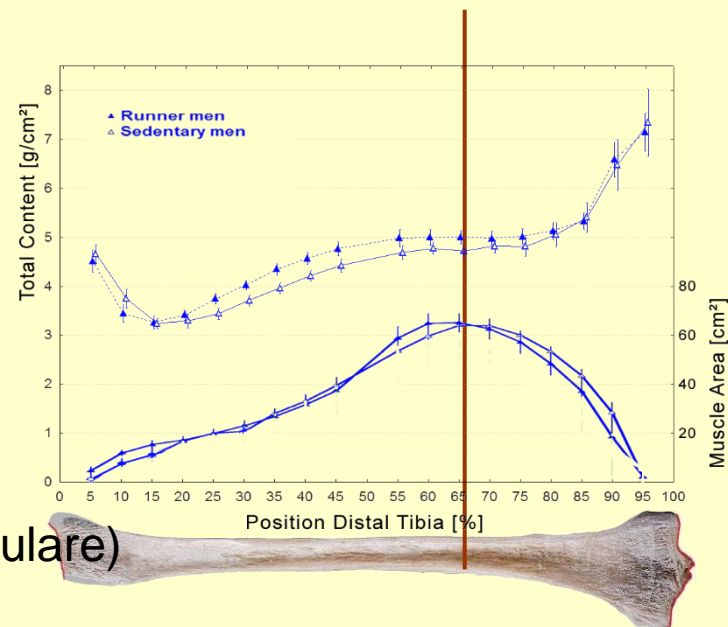
- Cea mai mare suprafață transversală a mușchiului
- Cea mai mică rată de schimbare a suprafeței transversale a mușchiului (când variază poziția de-a lungul tibiei)

▶ cea mai mică eroare de măsurare cauzată de erori de poziționare



- **Focalizarea analizei:**

- Raport oase/mușchi
 - tipic: 5% .. 6%
- Parametrii musculari
 - Secțiunea transversală a mușchiului (indicator substitut pentru forța musculară)
 - Densitate musculară (Infiltrarea adiposă, pierderea funcției musculare)



Zona de 66%: Raport oase/mușchi

STRA^{TEC} XCT-2002 pQCT™

6.00 E

Name
CT No.
Birth

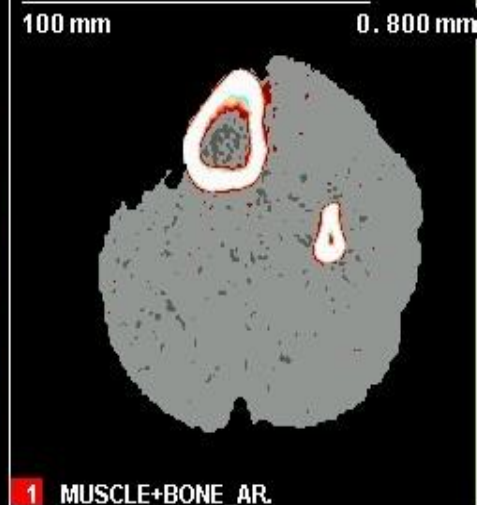
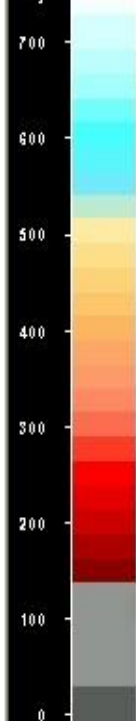
Slice 1/3
Pat.#:20677

Object length : 350.0 mm
Scan date : 22.02.2002

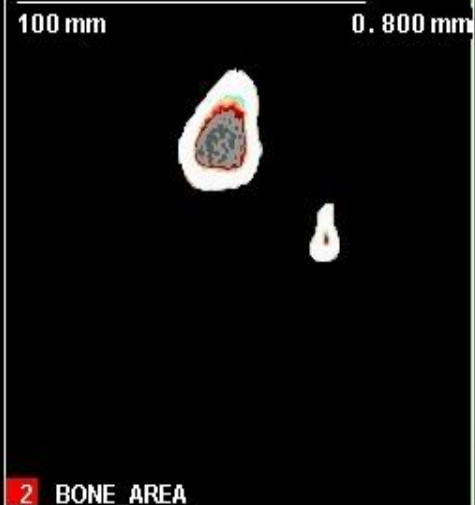
Female
Age : 60

Images are not for diagnostic purposes

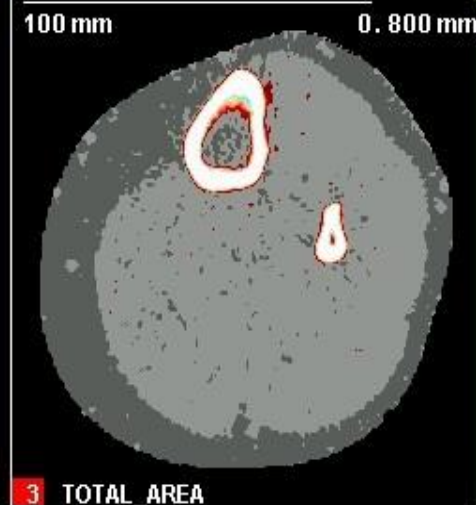
[mg/
ccm]



MUSCLE+BONE_AR.



BONE_AREA



TOTAL_AREA

TOTAREA1 6528.64 mm²

TOTAREA2 658.56 mm²

TOTAREA3 10510.08 mm²

Suprafața musculară

Suprafața osoasă

Muscle Density 73.00 mg/cm³

Muscle Area 5870.08 mm²

Fat Area 3981.44 mm²

330.88 mm³

Fat+Muscle Density 45.30 mg/cm³

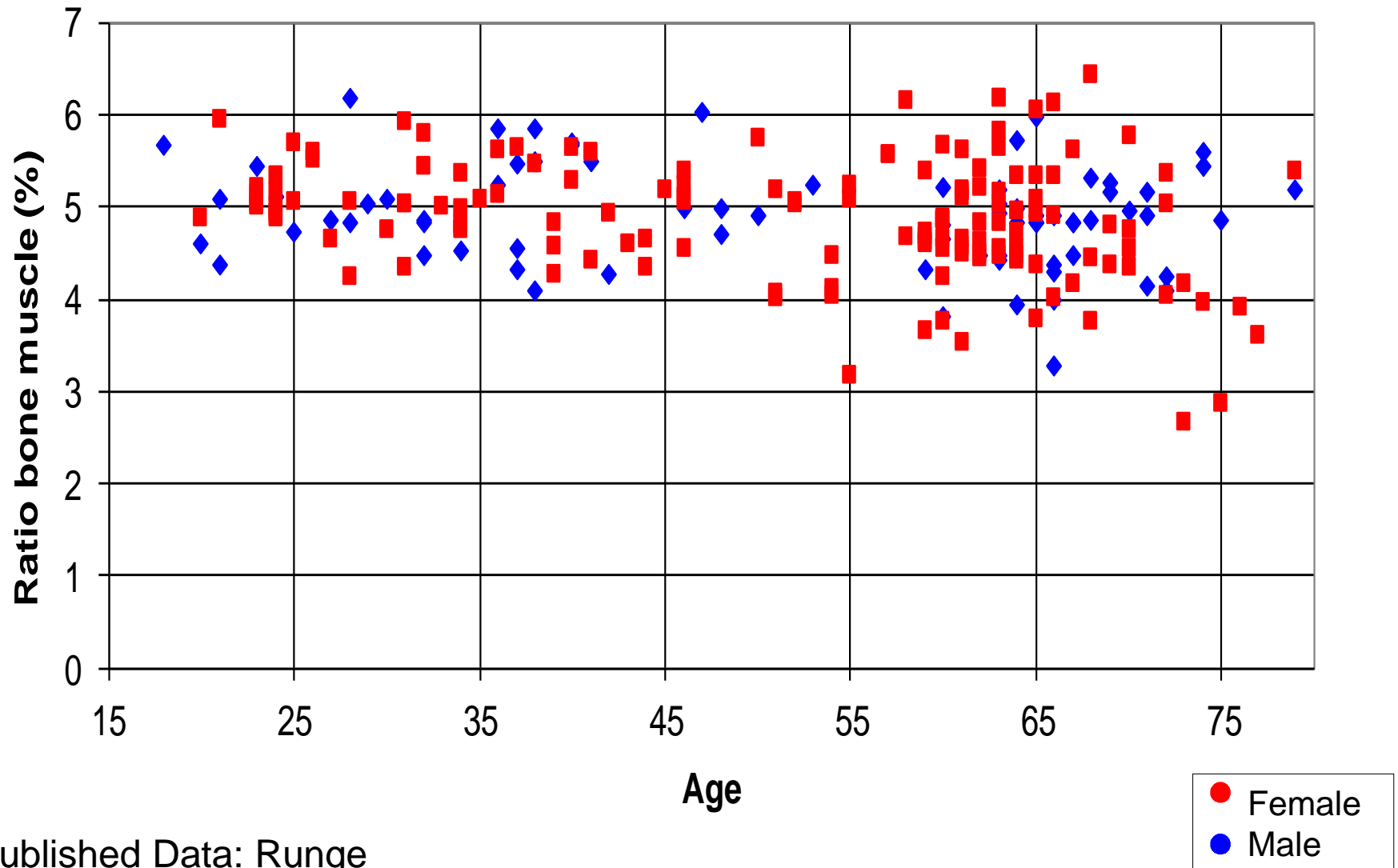
Bone/Muscle Area Ratio 5.64 %

Fat/Muscle Area Ratio 67.83 %

Raport

Mode = Muscle Contour

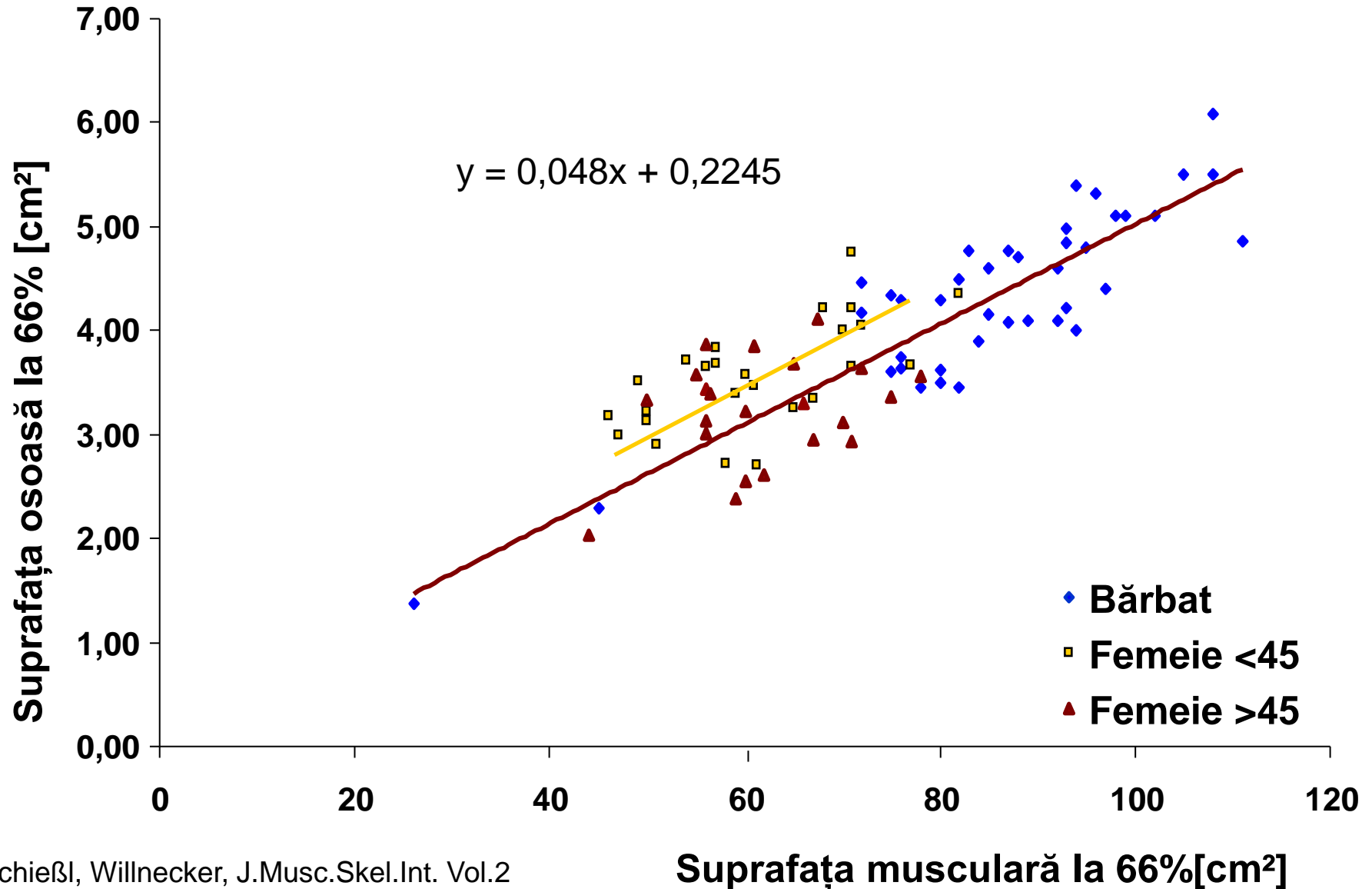
Raportul oase / mușchi la 66% din tibia distală vs. vârstă



Unpublished Data: Runge

Suprafața osoasă vs. suprafața musculară la 66% din tibia distală

pre & postmenopauză

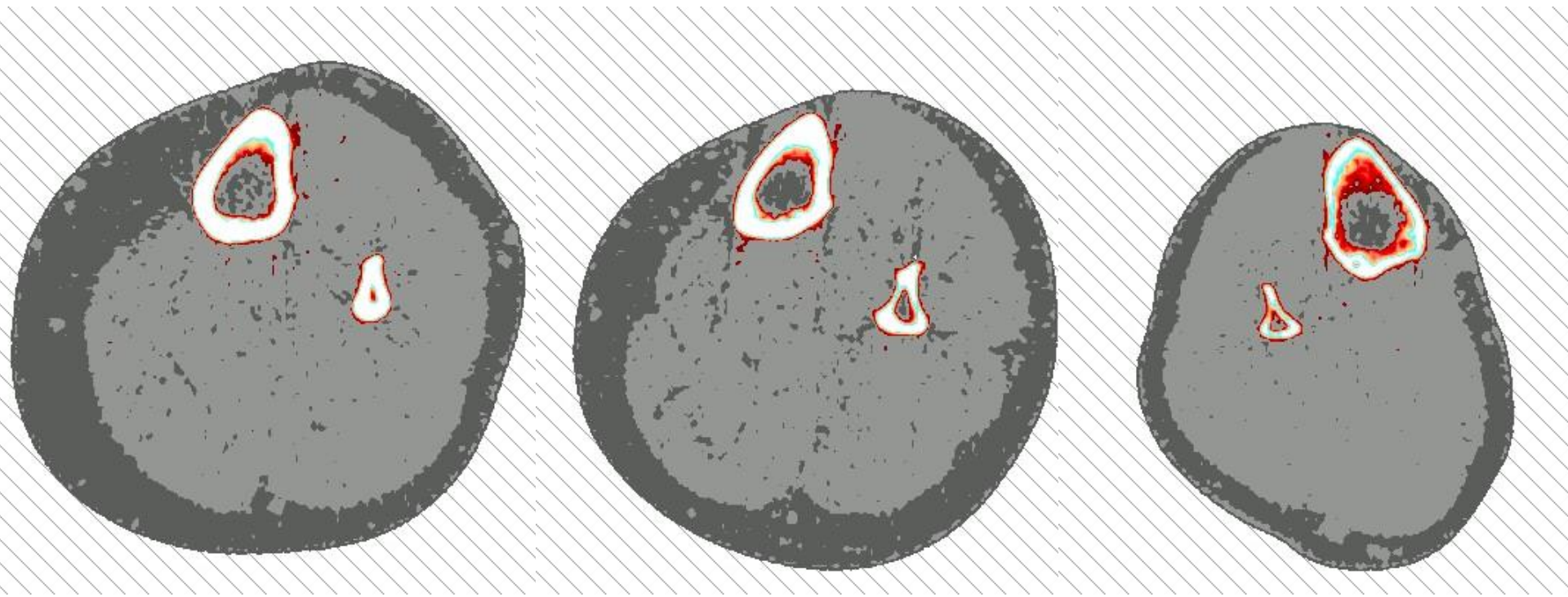


Exemple de raporturi oase/muschi

Sănătos
5.6 %

Osteopenie
4,5 %

Osteoporoza
2,6%



Mulumim pentru atentie

Dacă aveți mai multe întrebări sau aveți nevoie de informații suplimentare,
nu ezitați să întrebați.

Mecanostat

-

Sistem cibernetic care implică osul, articulațiile,
mușchii, fascia și neurologia

Vedere de ansamblu și actualizare - Partea 2

Harald Schubert
Stratec & Novotec Medical GmbH,
Pforzheim, Germany

Influența forțelor musculare asupra oaselor

Cât de mari sunt forțele interne de vârf și deformările de vârf la tibie?

Cum pot fi calculate forțele interne din forțele externe?

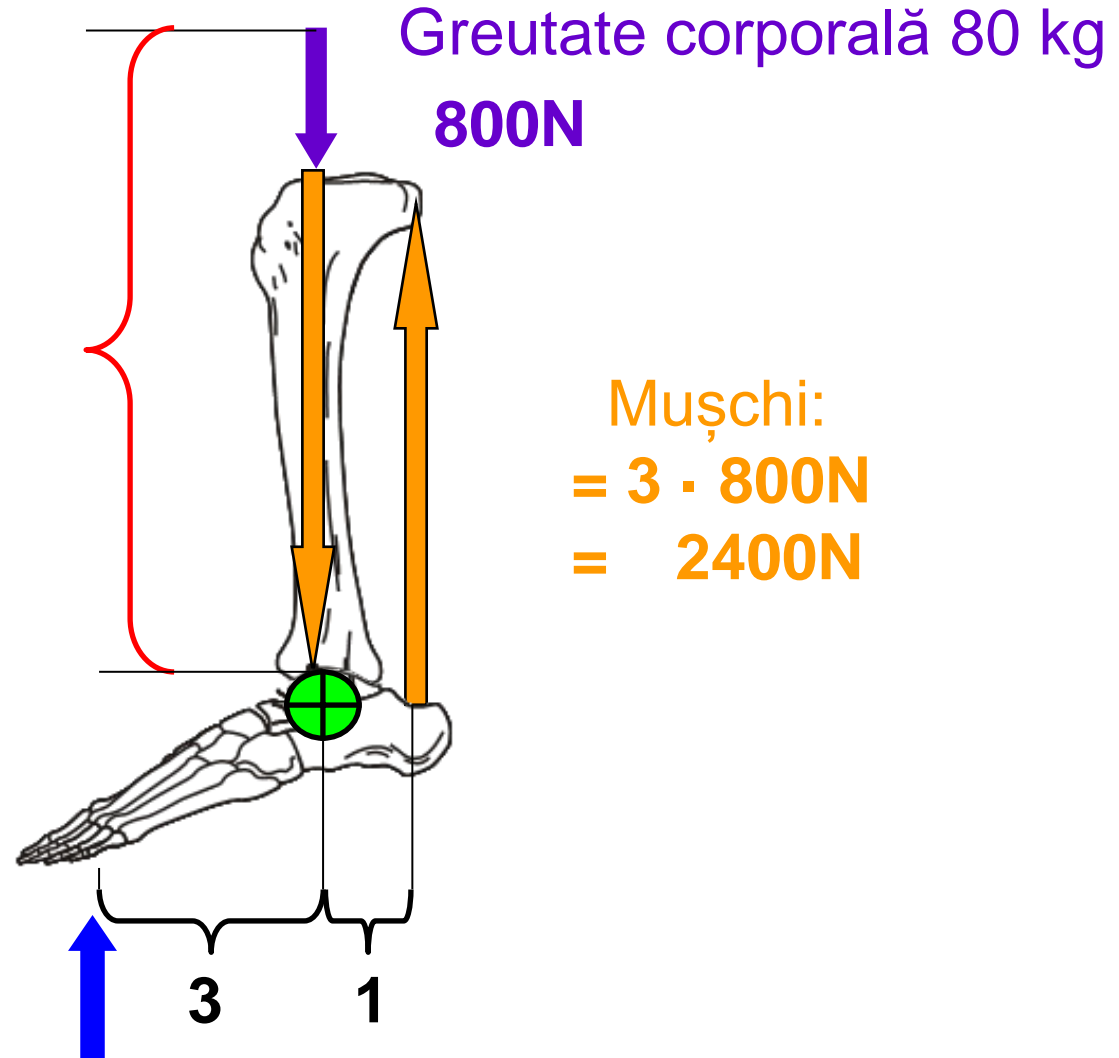
Forță statică pe tibie în timpul staționării pe vârful piciorului.

Forța de reacție a solului: $1 \times$ greutatea corpului.

Forța pe tibie:

$$\begin{aligned} & 2400\text{N} \\ + & 800\text{N} \\ = & 3200\text{N} \end{aligned}$$

**De patru ori
greutatea corpului**



$$F_{\text{sol}} = 1 \cdot 800\text{N} = 800\text{N (măsurare)}$$

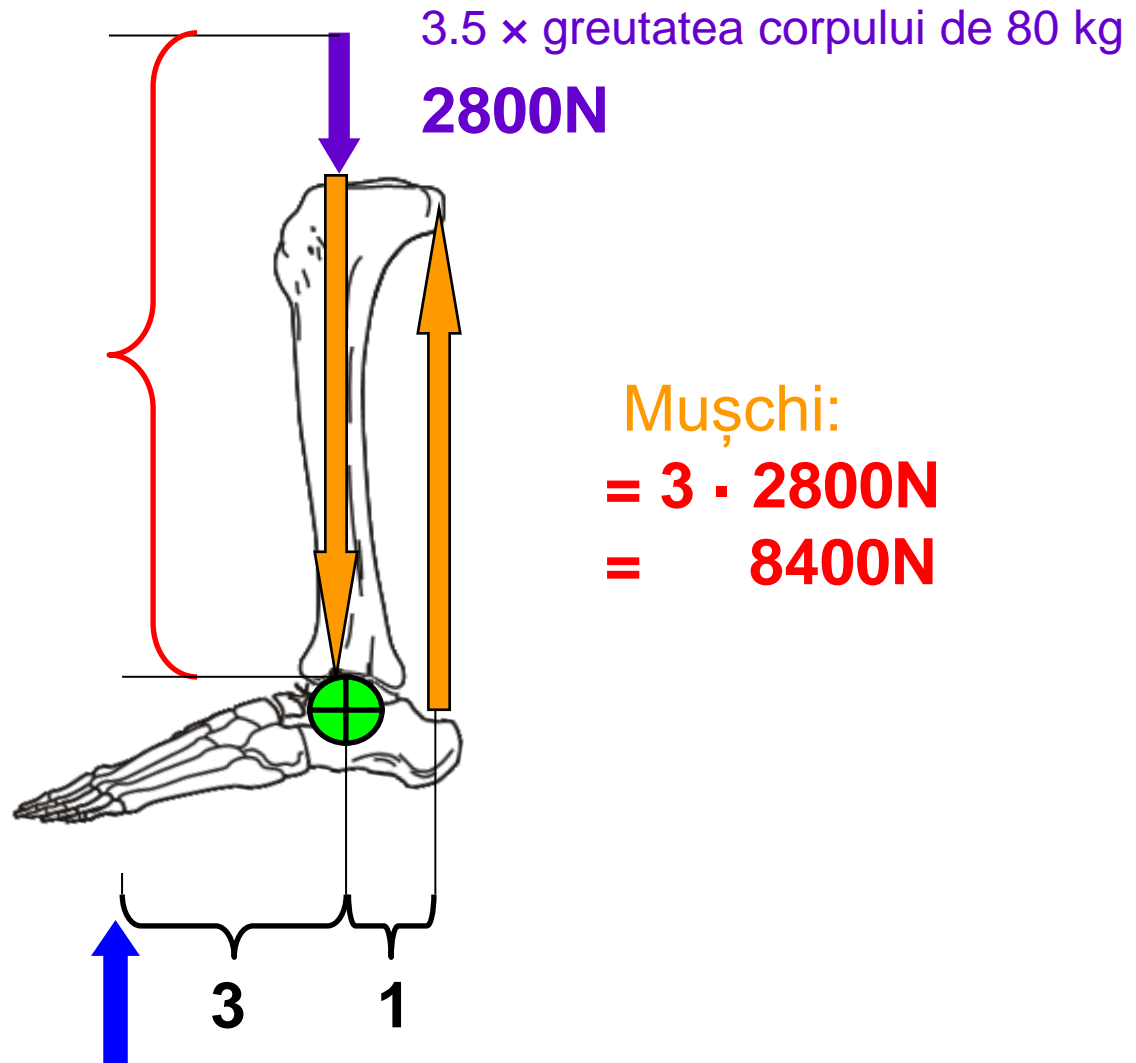
Forța pe tibie în timpul unui salt pe un picior, pe vârful piciorului

Forța tipică maximă de reacție a solului după pubertate: $3,5 \times$ greutatea corpului

Forța pe Tibie:

$$\begin{aligned} & 8400\text{N} \\ + & 2800\text{N} \\ = & 11200\text{N} \end{aligned}$$

De 14 ori greutatea corpului



$$F_{\text{sol}} = 3,5 \cdot 800\text{N} = 2800\text{N (măsurare)}$$

11000N Forța cauzează deformare (tensiune)

Forță



Deformation

2000 μ Strain

**= 0.8 mm pentru o tibie tipica
de 400mm lungime**

Prag de formare

**deformare tipică de 0,2%
= 2000 μ Strain**

Forță

Forța fiziologică maximă **nu este** generată în timpul

măsurării forței izometrice
sau
măsurării forței izocinetice

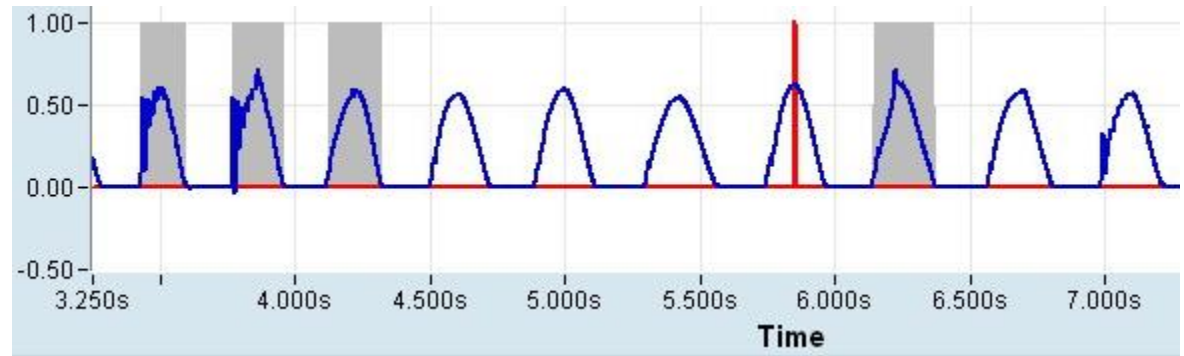
ci doar în timpul

**mișcărilor excentrice cu stocare de energie,
de ex. la sărituri.**

Măsurarea forței voluntare maxime

Salt pe un picior

"Sari pe vârful piciorului cu genunchiul îndreptat cât mai sus posibil!"



Forța maximă de reacție a solului: 630 N

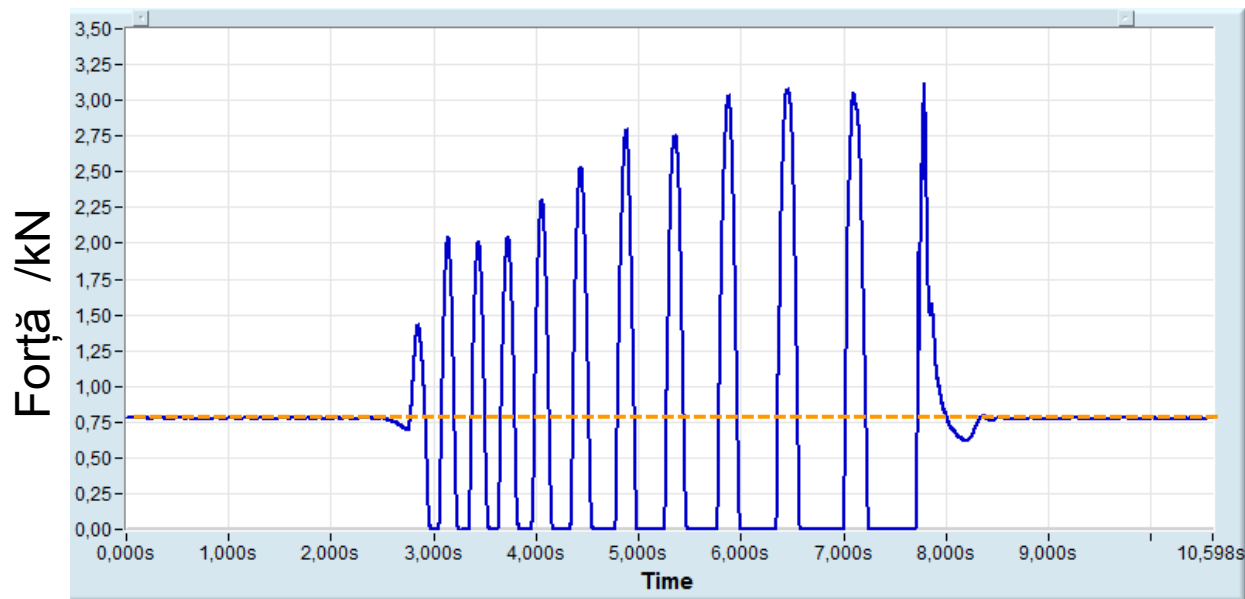
=

De 3,3 ori greutatea corpului

Măsurarea forței voluntare maxime

Salt pe un picior

"Sari pe vârful piciorului cu genunchiul îndreptat cât mai sus posibil!"

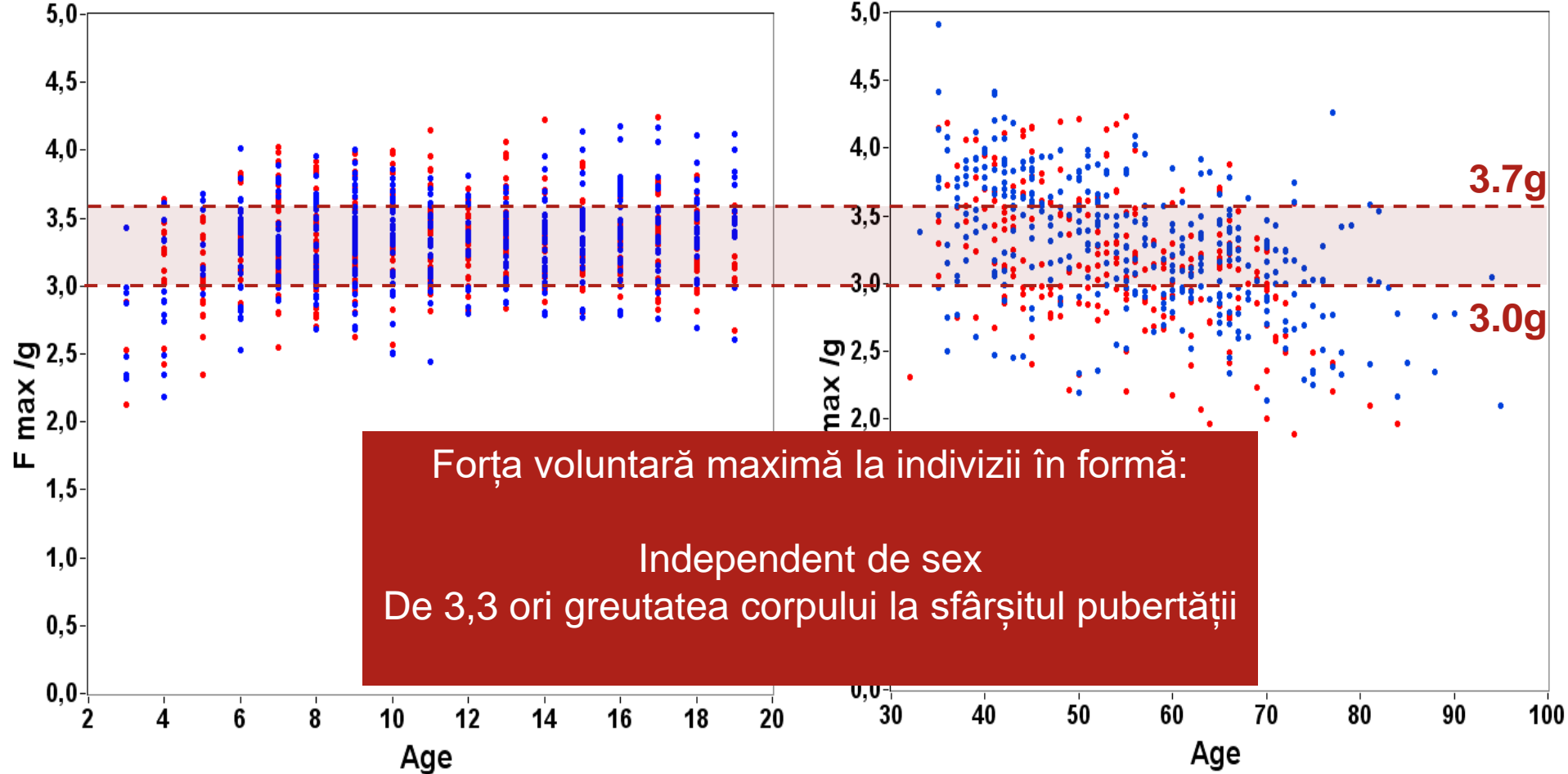


Forța maximă de reacție a solului : 3000 N
= de 3,75 ori greutatea corpului

Forța voluntară maximă

Copii sănătoși (între 3 și 19 ani)

Sportivi de vârstă medie (>35 de ani)

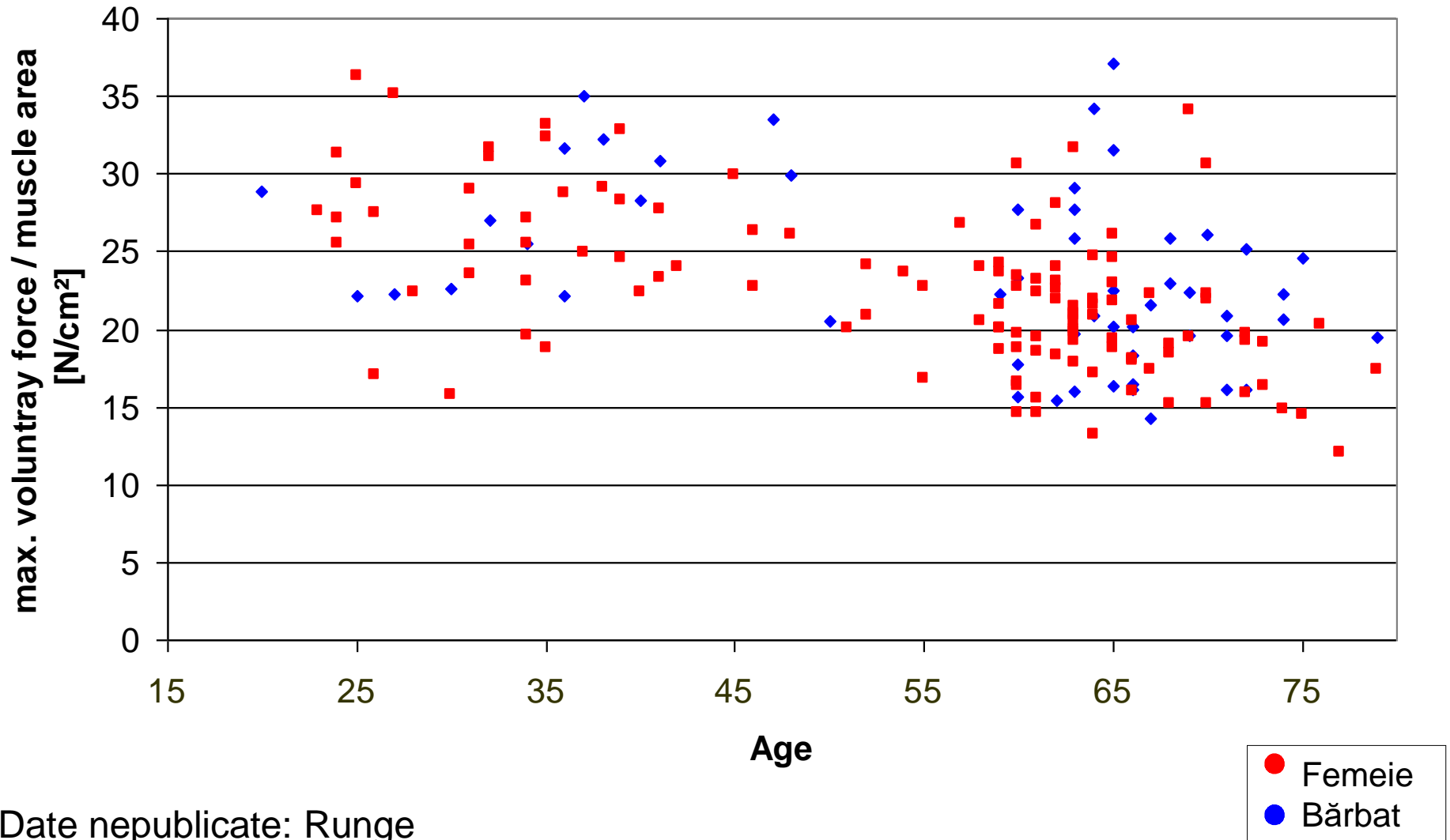


- femei
- bărbați

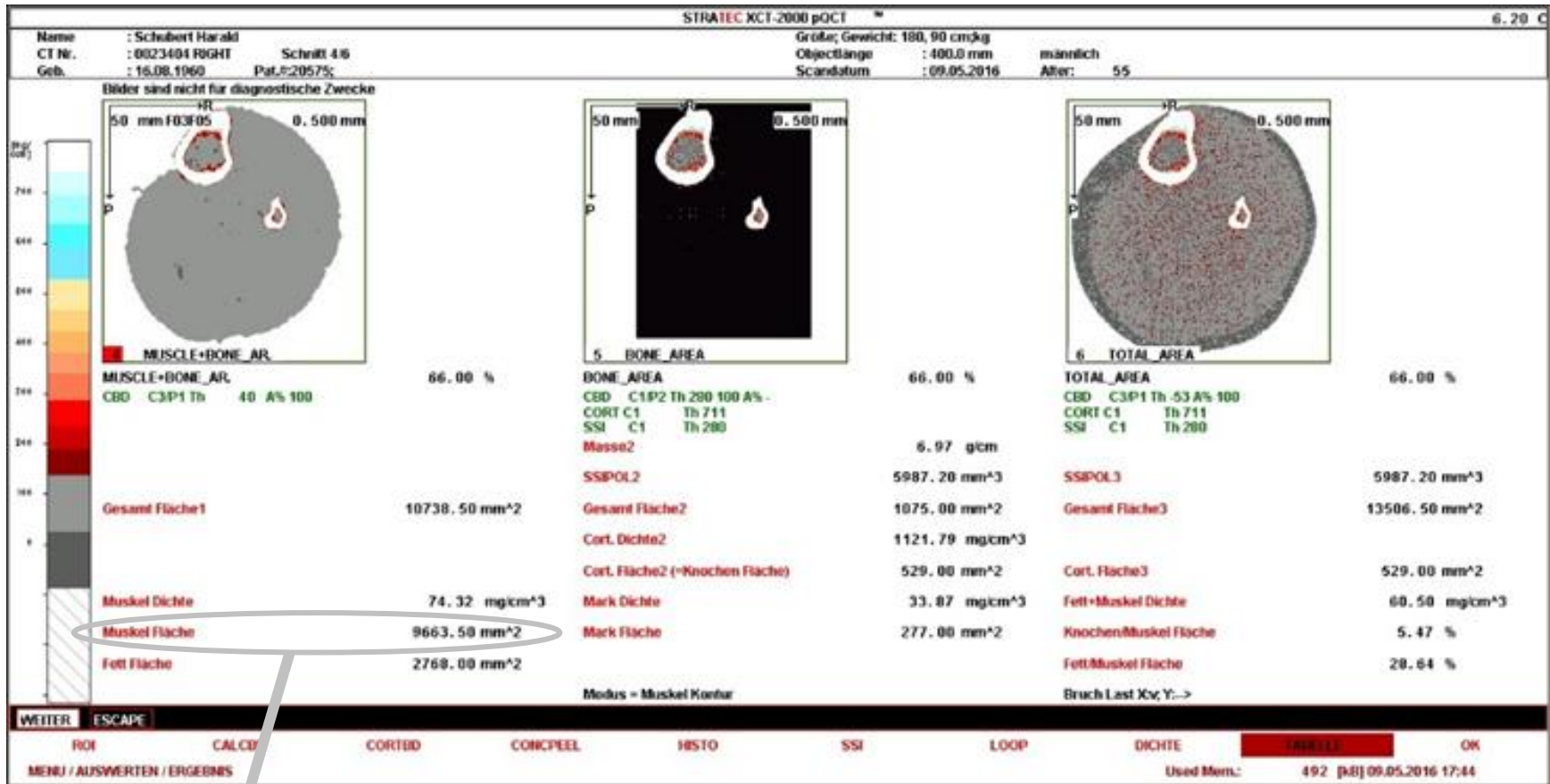
kids (Martin, Rawer); Master Athletes(Felsenberg, Rittweger, Rawer)

Forța specifică a mușchiului pe unitatea de suprafață musculară

Forța maximă a mușchiului (vârful piciorului) per suprafață musculară vs. vârstă

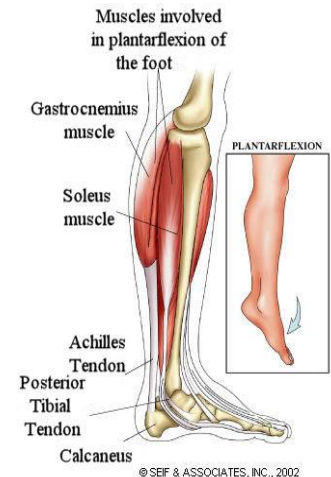


Date nepublicate: Runge



9663 mm² = 97 cm² → 97 cm² x 30N/cm² = 2910N
 (force on the forefoot)

Cine sau ce limitează forțele musculare voluntare maxime în bucla de feedback oase, fascie/tendon, mușchi?



De ce corpul trebuie să controleze aceste forțe voluntare maxime?

Consecințe clinice pentru forța maximă

- Stresul și deformarea tolerabile ale cartilajului sunt definite de proprietățile sale constante de material:

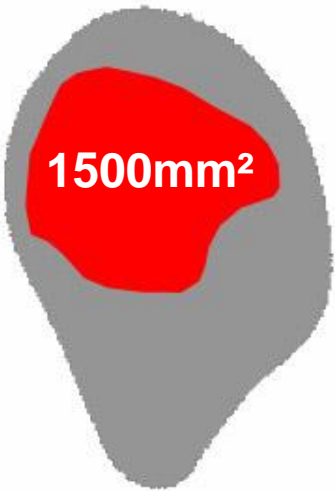
7 N/mm²

- În perioada pubertății, zona articulară se adaptează la forța maximă: dublarea forței necesită dublarea zonei articulare

- După pubertate, creșterea **zonei articulare** nu mai este posibilă și nu există schimbări în secțiunea transversală a **tendonului**

→ **Valoarea absolută a forței voluntare maxime este fixată la sfârșitul perioadei de pubertate**

→ **Forța trebuie controlată de extensimetre (organe Golgi)**



Are o masă musculară mare înseamnă automat și forțe musculare mari?



Funcția mecanostatului

Unitatea mușchi-os/Mecanostat



H. Frost

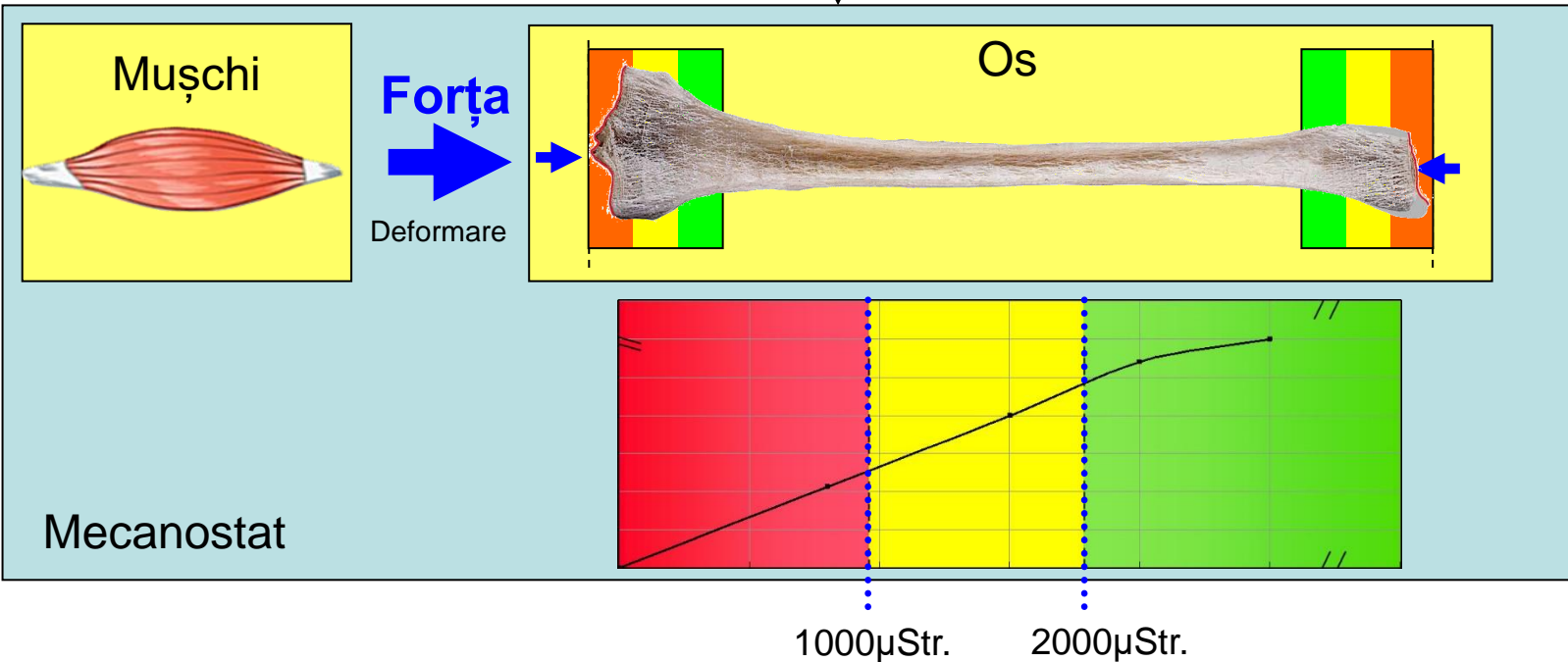
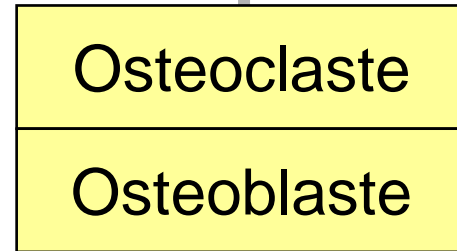
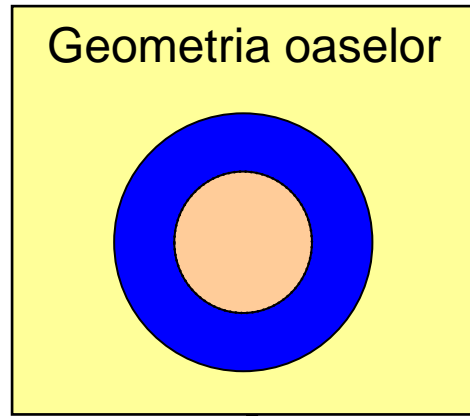
- Frost H.M. The mechanostat: Un mecanism propus patogenetic al osteoporozei și efectele asupra masei osoase ale agenților mecanici și nemecanici. *Bone Miner.* 1987;2:73–85.

Mecanostat: bucla de control a adaptării osoase

Adaptat: Stare de echilibru



H. Frost 1964

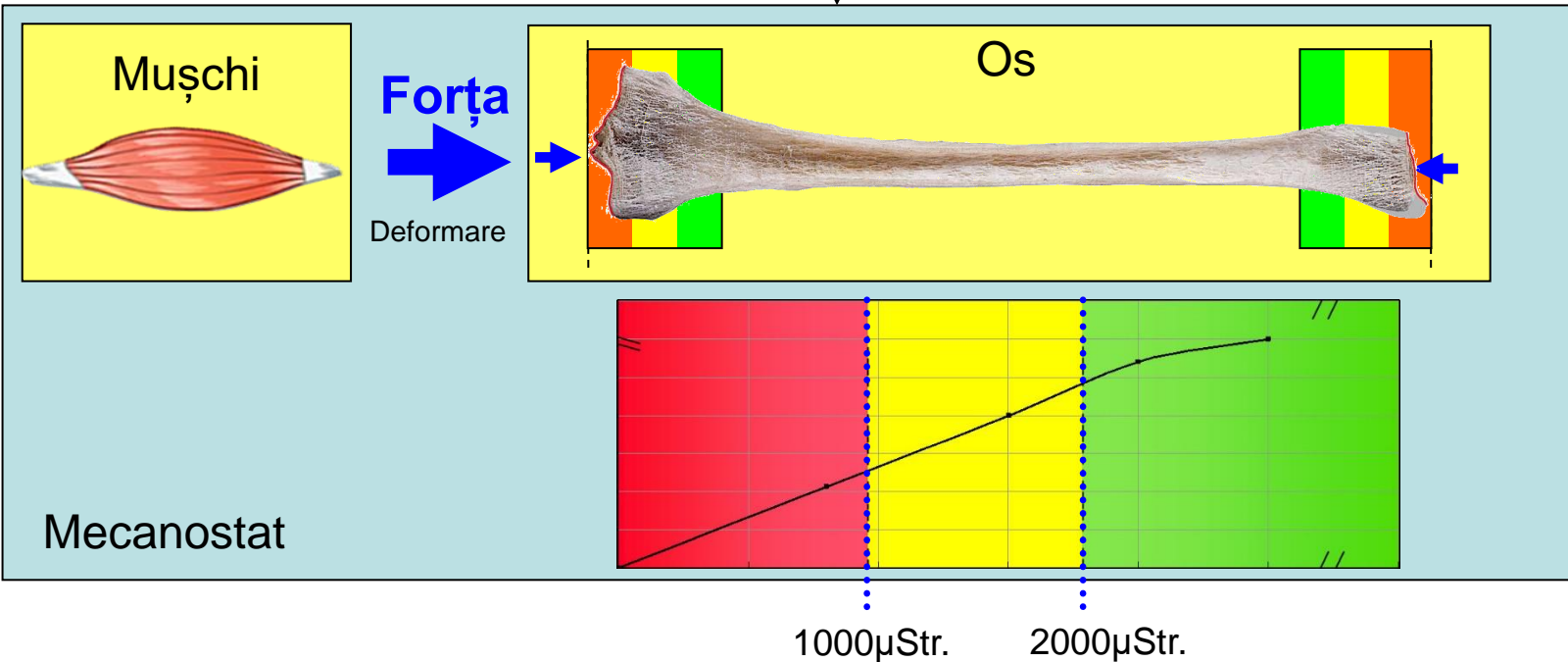
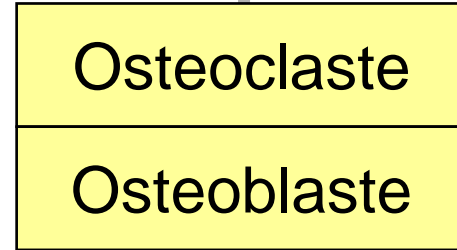
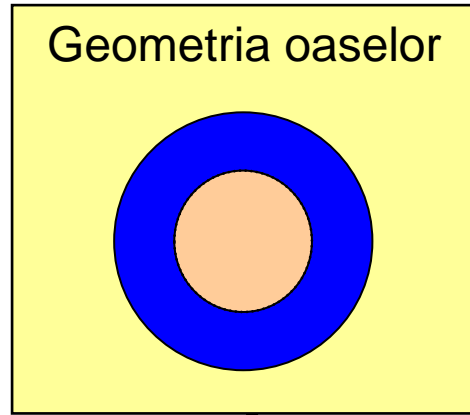


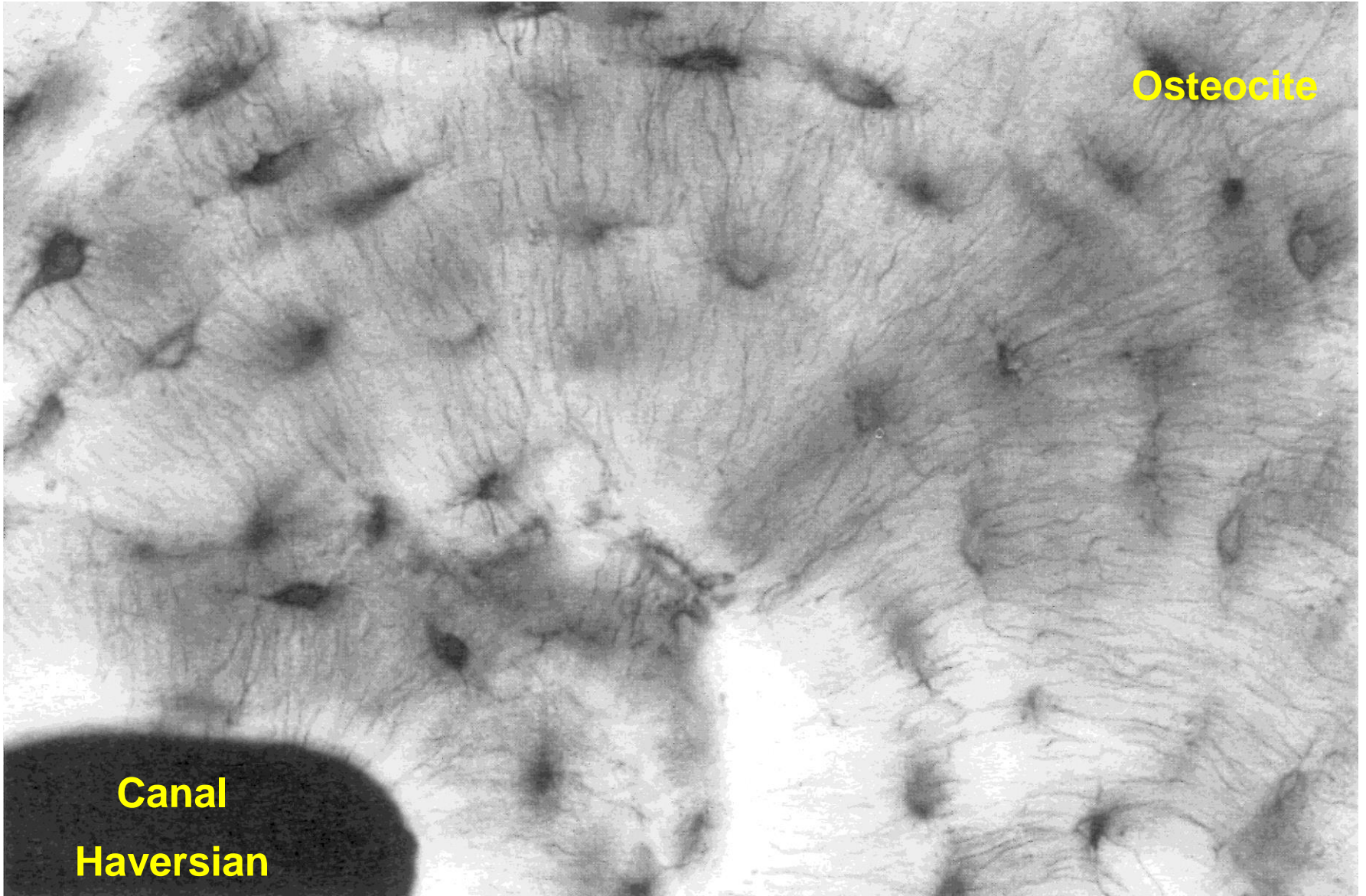
Mecanostat: bucla de control a adaptării osoase

Adaptat: Stare de echilibru



H. Frost 1964



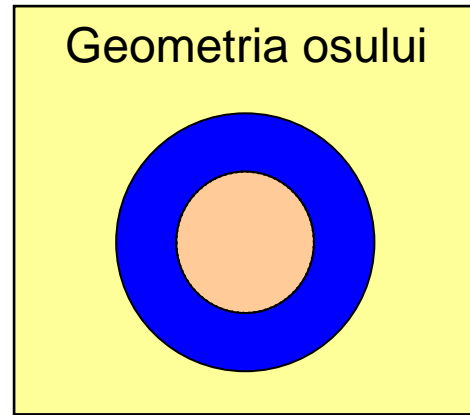


Mecanostat: bucla de control a adaptării osoase

Adaptat: Stare de echilibru



H. Frost 1964



Repararea oaselor

Osteoclaste

Osteoblaste

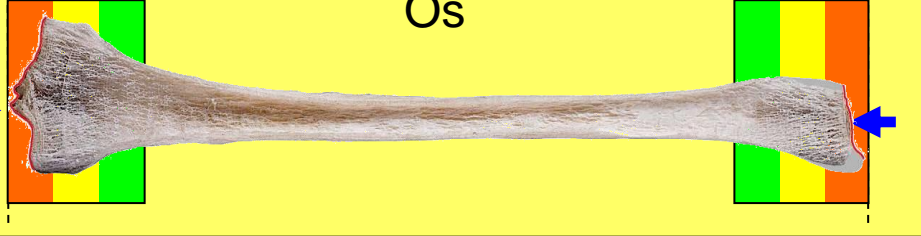
Mușchi

Forța

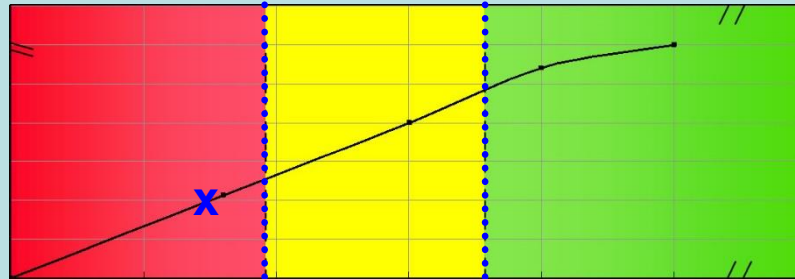


Deformare

Os



Mecanostat



1000 $\mu\text{Str.}$

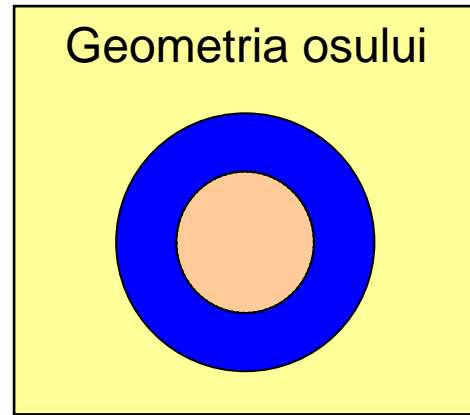
2000 $\mu\text{Str.}$

Mecanostat: bucla de control a adaptării osoase

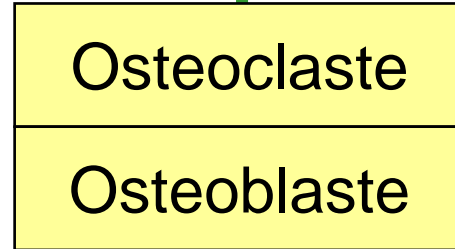
Adaptat: Stare de echilibru



H. Frost 1964



Repararea oaselor



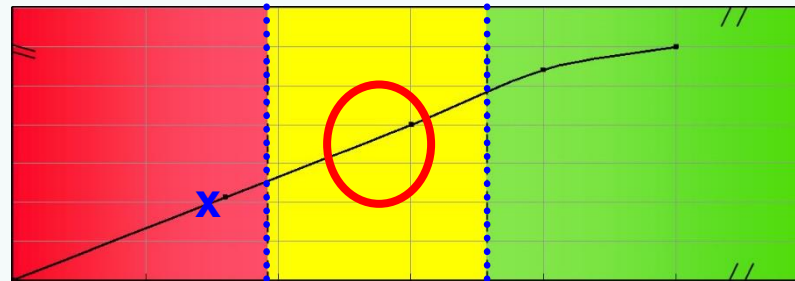
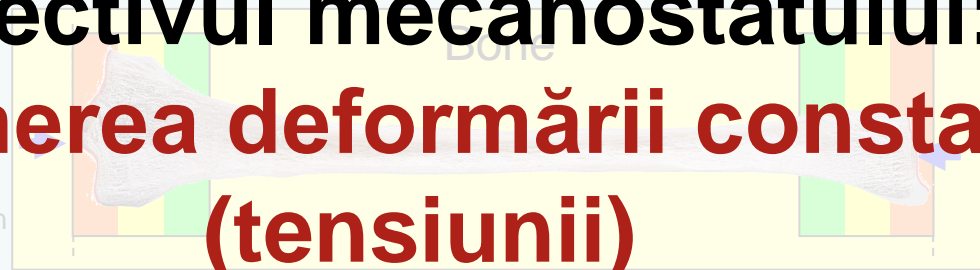
Obiectivul mecanostatului:

**menținerea deformării constante
(tensiunii)**



Force

Deformation



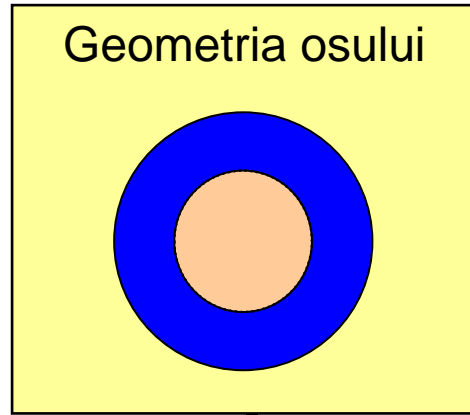
Mechanostat

Mecanostat: bucla de control a adaptării osoase

Adaptat: Stare de echilibru



H. Frost 1964



Repararea oaselor

Hormoni
Nutritie
Medicamente

Osteoclaste

Osteoblaste

Mușchi

Forța



Deformare

Os



Hormoni
Nutritie
Medicamente

Mecanostat

Hormoni
Nutritie
Medicamente

1000 μ Str.

2000 μ Str.

Mecanostat - adaptarea oaselor

Tranziții și stare de echilibru

Tranziții și stare de echilibru ale Mecanostatului

Exemple de influențe mecanice:

- Suprasolicitare (perioada de creștere)
- Neutilizare (paraplegici)

Exemple de influențe hormonale:

- Schimbarea punctului de setare în perioada de pubertate
- Schimbarea punctului de setare în perioada menopauzei

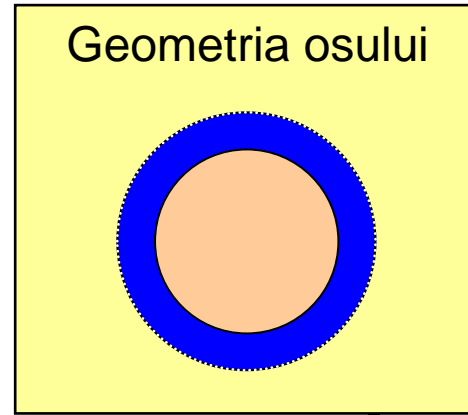
Exemple de influențe mecanice:

Suprasolicitare

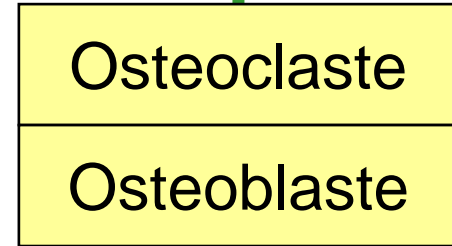
Exemplu: Perioada de creștere

Mecanostat: bucla de control a adaptării osoase

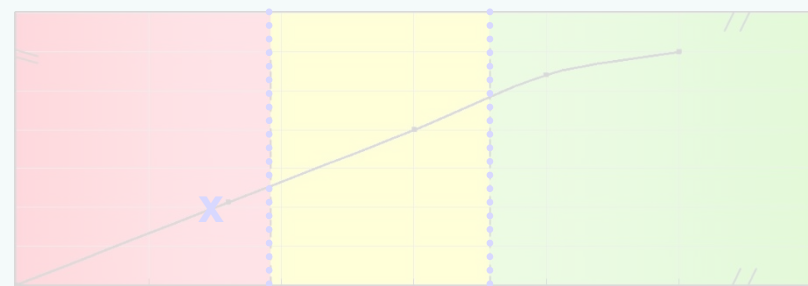
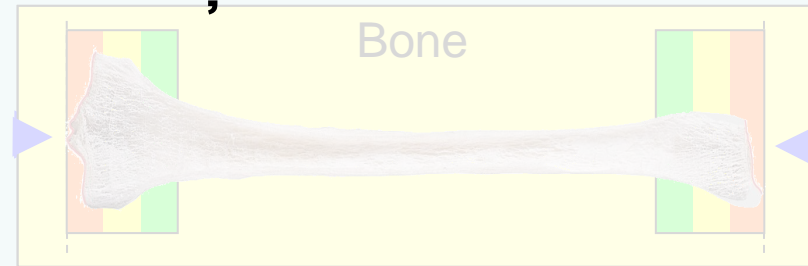
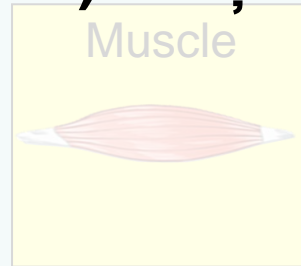
Suprasolicitare: Stare de echilibru



Repararea osului



1) Creșterea forței maxime



1000 μ Str. 2000 μ Str.

Mecanostat: bucla de control a adaptării osoase

Suprasolicitare: Stare de echilibru

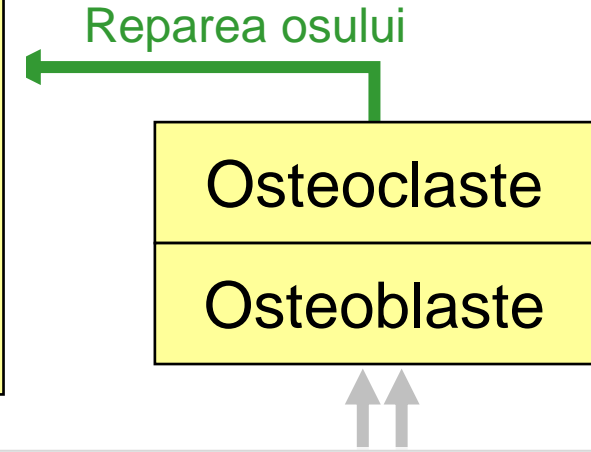
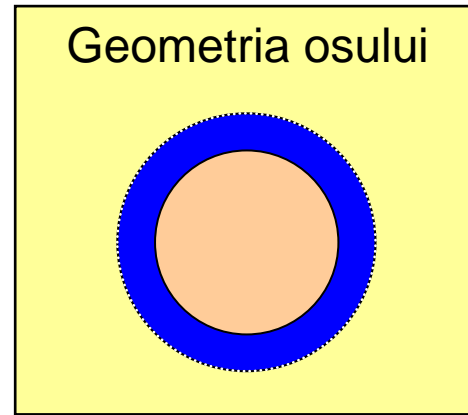
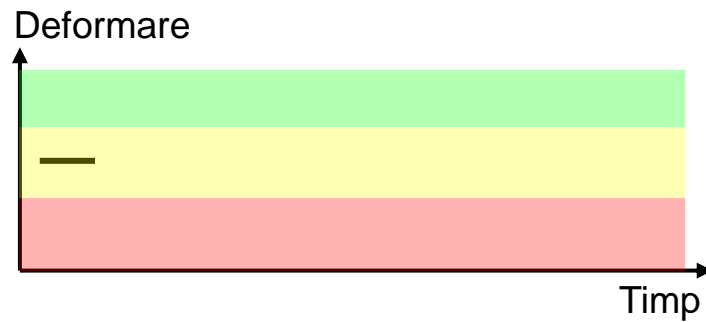
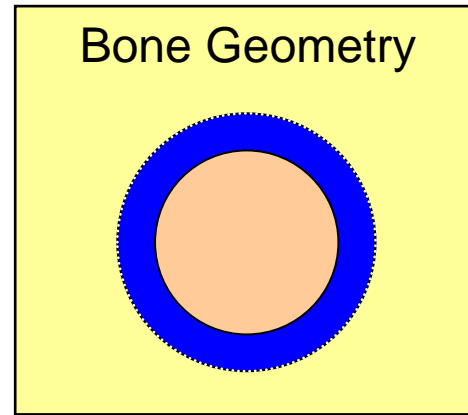
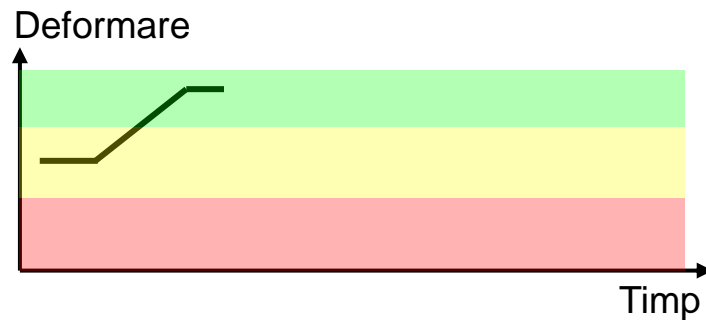
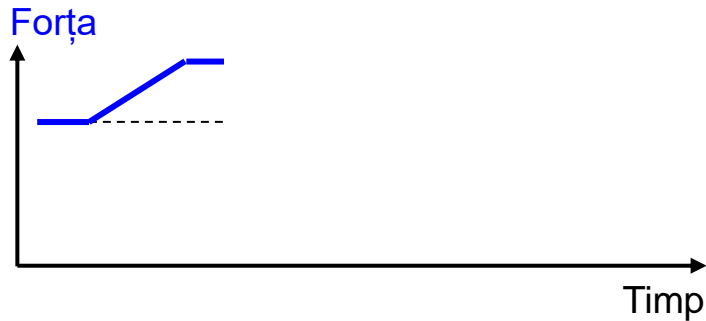


Diagram illustrating the mechanostat model. It shows a muscle on the left and a bone on the right, with force applied to the bone. The bone is shown in a state of equilibrium. The diagram is divided into three vertical regions: red (left), yellow (middle), and green (right). The text "1) Creșterea forței maxime" (Increase in maximum force) and "2) Creșterea deformării" (Increase in deformation) is overlaid on the diagram. A graph at the bottom shows a curve of bone response to force, with a blue 'x' marking a point at 1000 μ Str. and a vertical dashed line at 2000 μ Str. The text "H. Frost 1964" is visible in the bottom left corner.

Mecanostat: bucla de control a adaptării osoase

Suprasolicitare: Stare de echilibru



Câștig osos

Osteoclaste

Osteoblaste

- 1) Creșterea forței maxime
- 2) Creșterea deformării
- 3) Activarea osteoblastelor



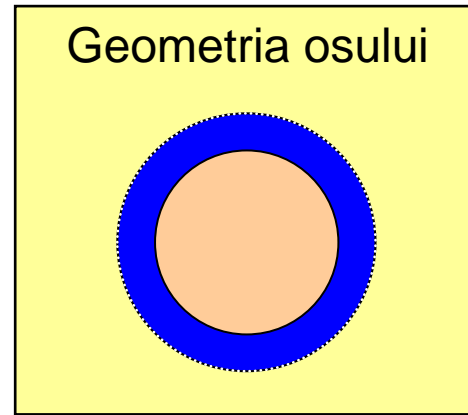
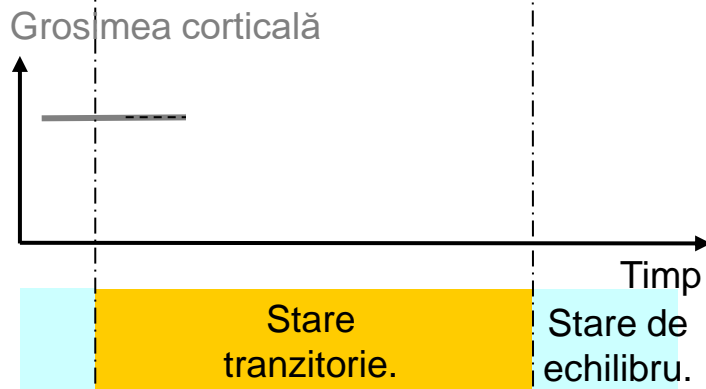
H. Frost 1964

1000 μ Str.

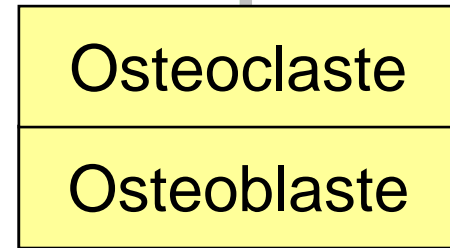
2000 μ Str.

Mecanostat: bucla de control a adaptării osoase

Suprasolicitare: Stare de echilibru



Câștig osos



- 1) Creșterea forței maxime
- 2) Creșterea deformării
- 3) Activarea osteoblastelor
- 4) Creșterea grosimii corticale

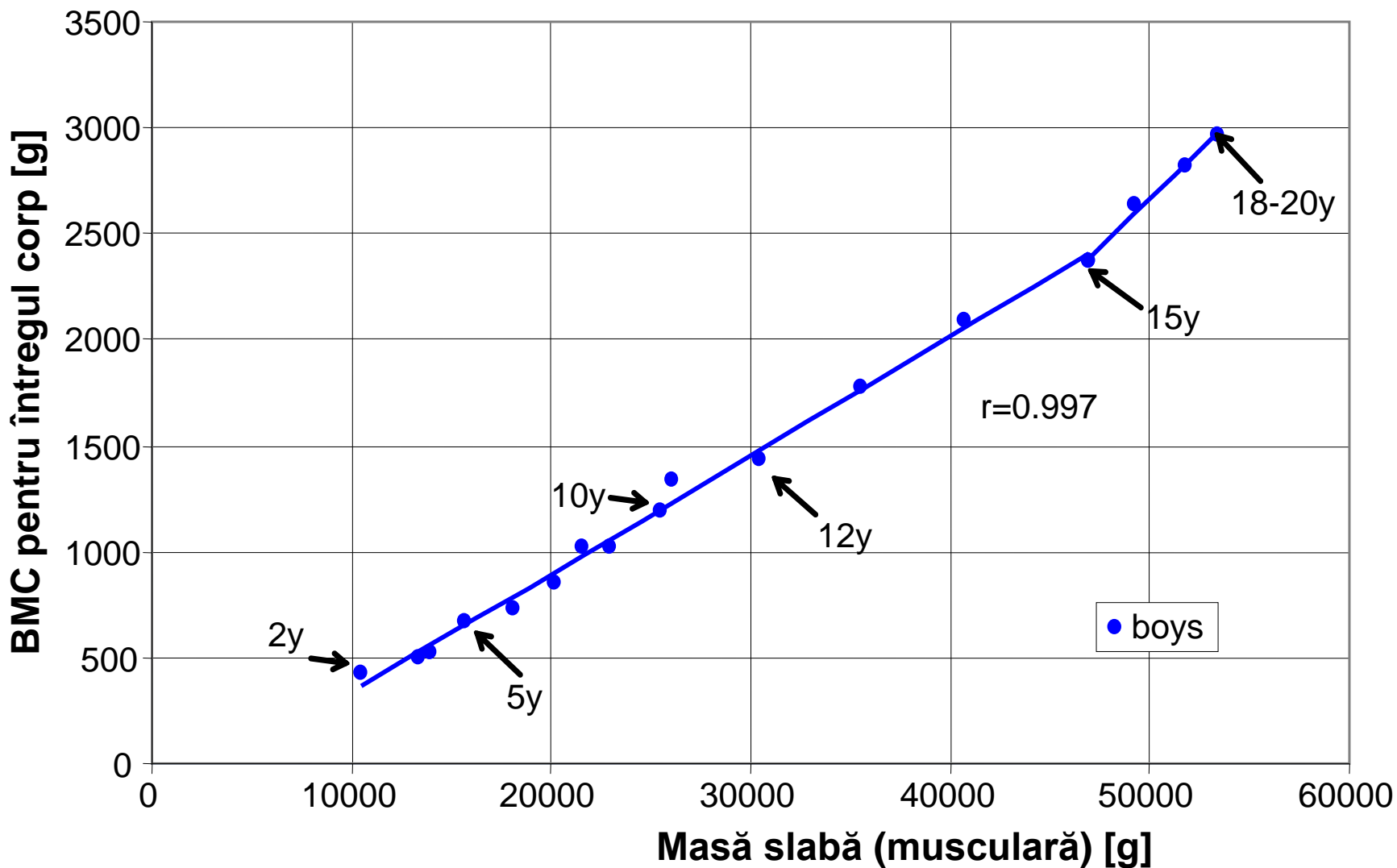
- 5) Noua stare de echilibru
 - Creșterea grosimii corticale
 - Deformare în zona de confort

H. Frost 1964

1000 μ Str.

2000 μ Str.

Masă musculară vs. masă osoasă la copii

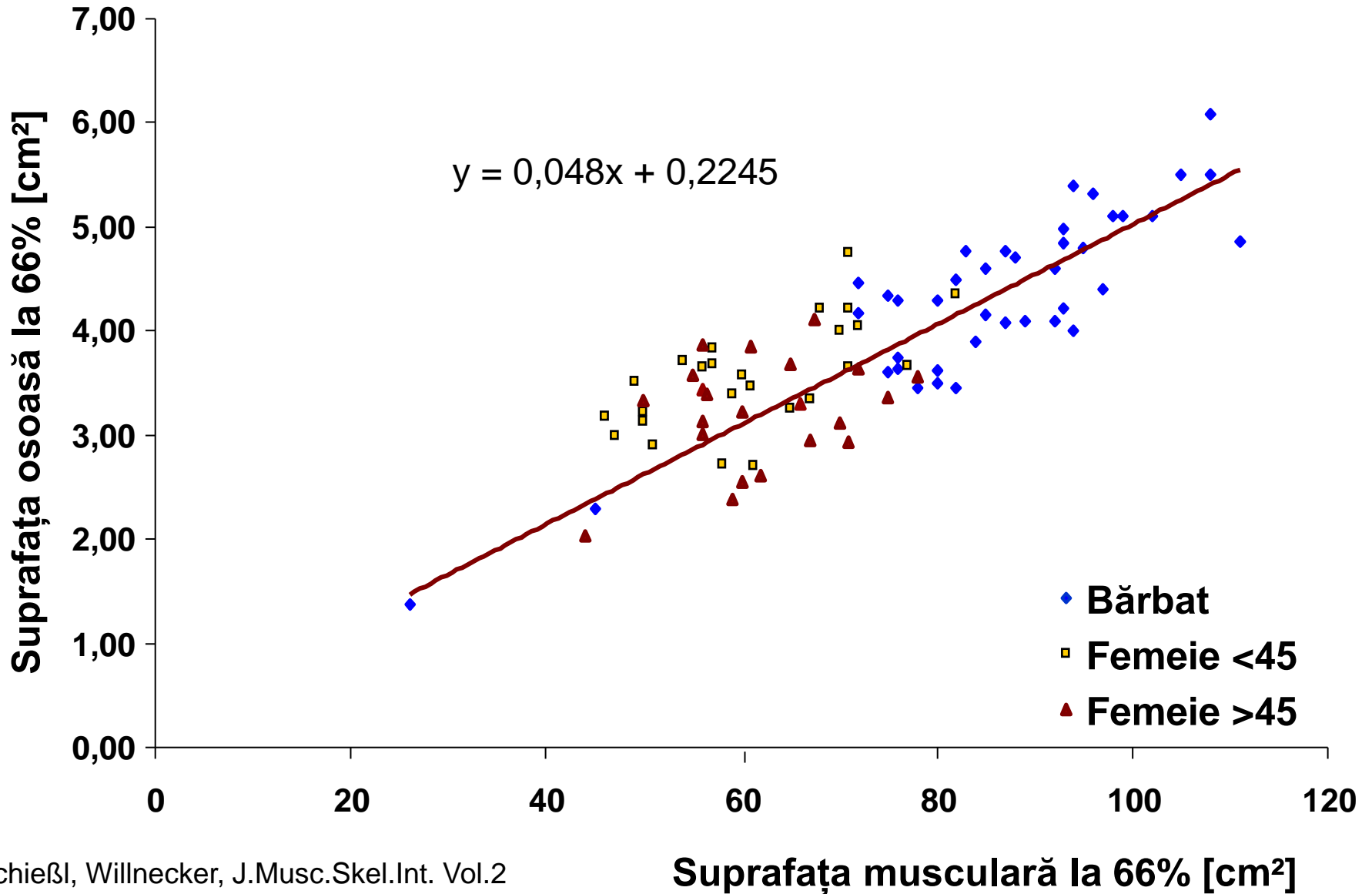


J.R.Zanchetta et al. Bone 16: Supplement 1995, 393S-399S

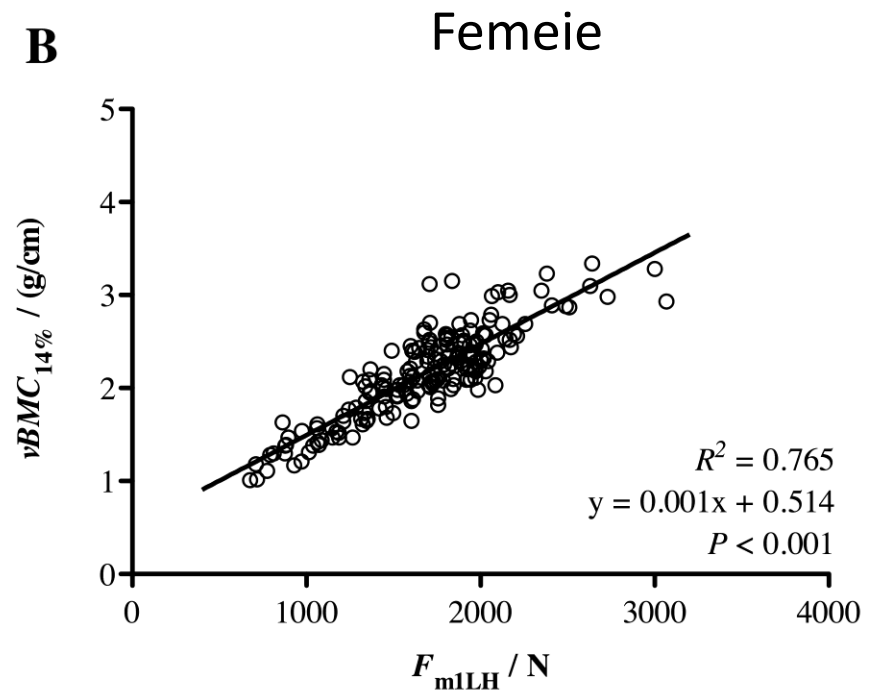
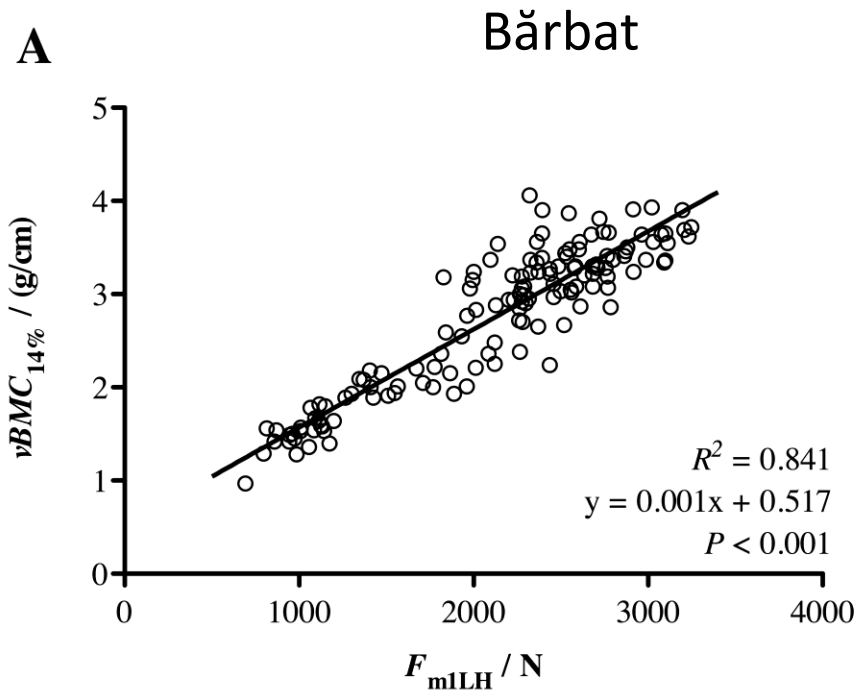
H. Schießl, H.M. Frost, W.S.S. Jee

Bone (1998) 22: 1-6

Suprafața osoasă vs. suprafața musculară la nivelul distal al tibiei în punctul 66%



Conținutul mineral osos vs. forța voluntară maximă



Exemplu de influențe mecanice:

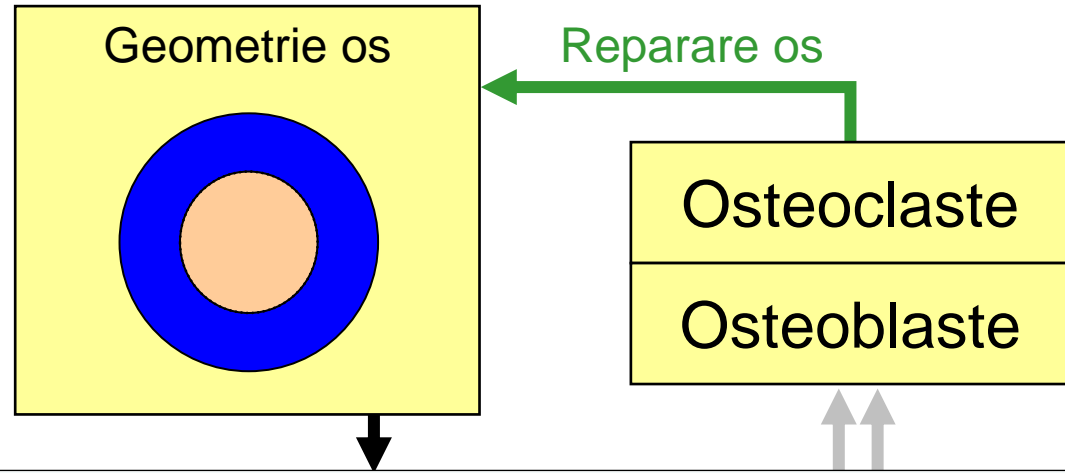
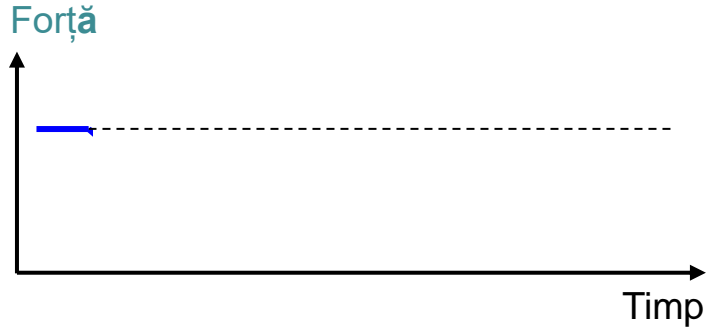
Neutilizare

Exemple: Paraplegici

Un defect în sistemele neurologice cauzează o funcție musculară precară și o rezistență osoasă redusă

Mecanostat: bucla de control a adaptării osoase

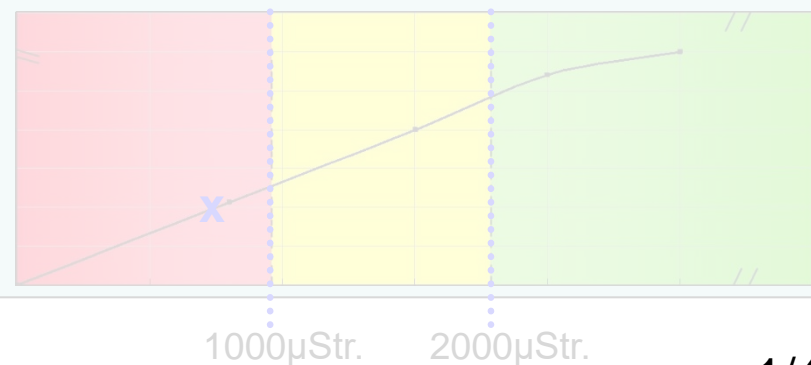
Neutilizare: Stare de echilibru



1) Pierderea forței maxime

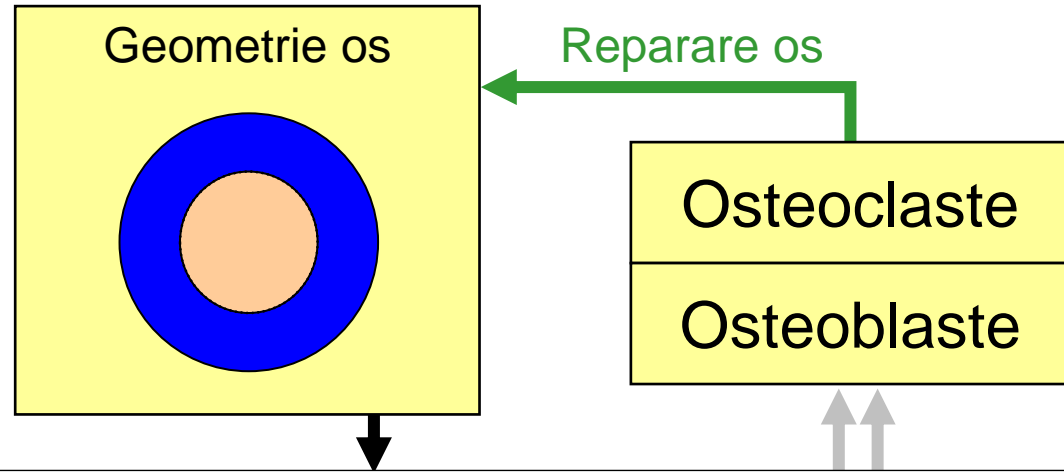
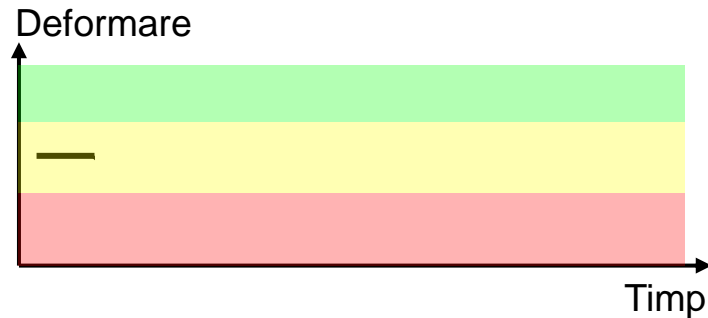
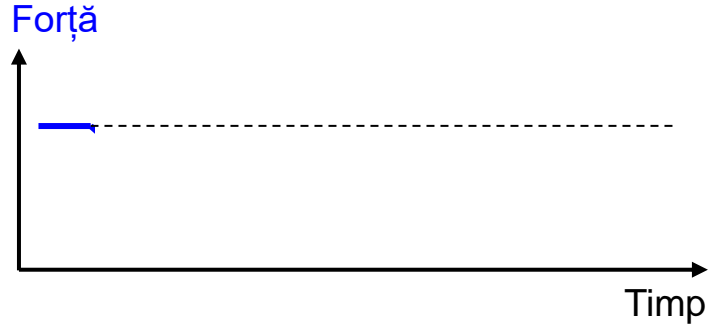


H. Frost 1964



Mecanostat: bucla de control a adaptării osoase

Neutilizare: Stare de echilibru



1) Pierderea forței maxime
2) Scăderea deformării

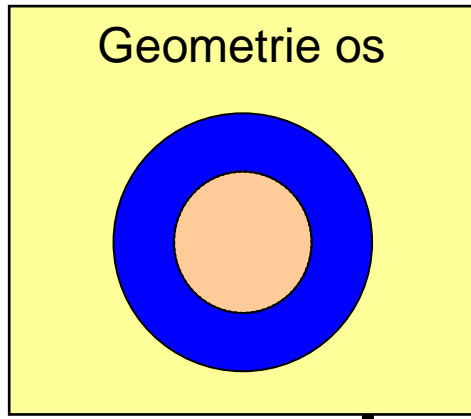
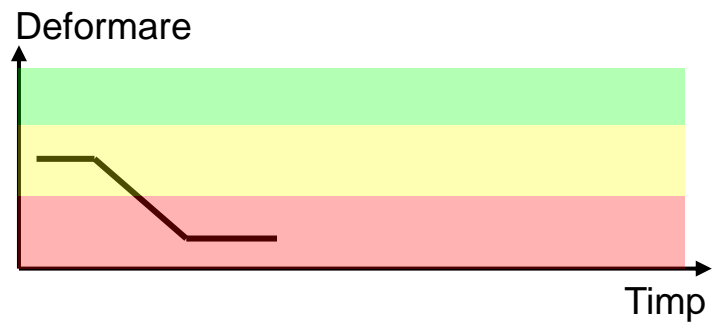
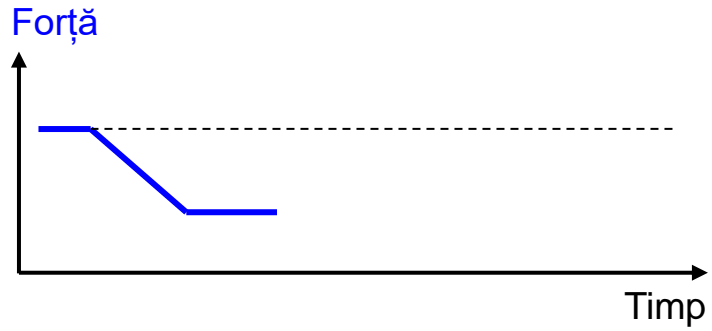
Diagram illustrating the adaptation of bone to force. A muscle is shown on the left, and a bone is shown on the right. The bone is divided into three regions: red (low force), yellow (intermediate force), and green (high force). The bone adapts by increasing its thickness in the high force region.

H. Frost 1964

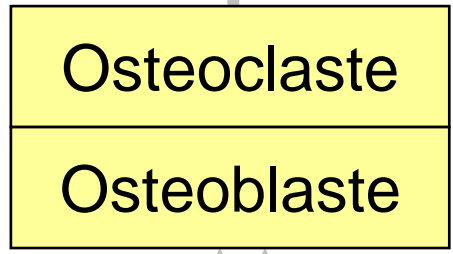
Graph showing the relationship between force and bone adaptation. The x-axis is labeled "Force" and "Mecanostat". The y-axis is labeled "Bone". The graph shows a curve that increases with force, with a blue 'x' marking a point at 1000 μ Str. and a blue 'y' marking a point at 2000 μ Str.

Mecanostat: bucla de control a adaptării osoase

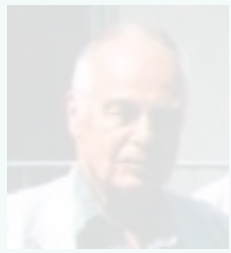
Neutilizare: Stare de echilibru



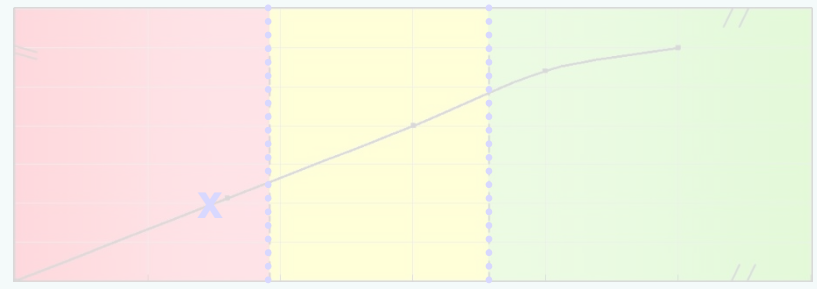
Bone Loss



- 1) Pierderea forței maxime
- 2) Scăderea deformării
- 3) Activarea osteoclaștilor



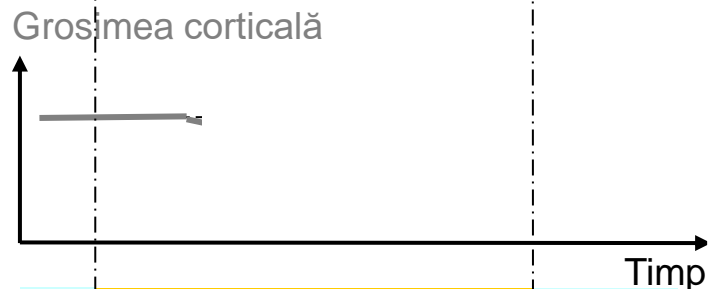
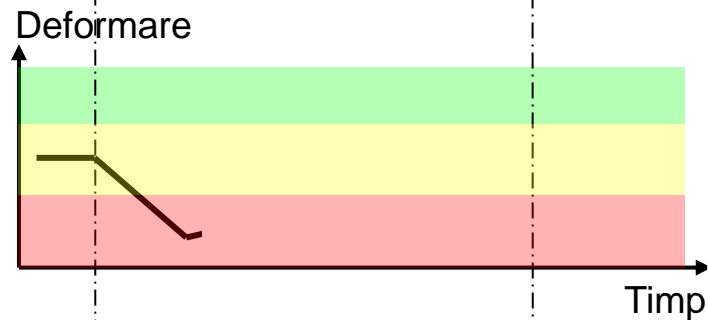
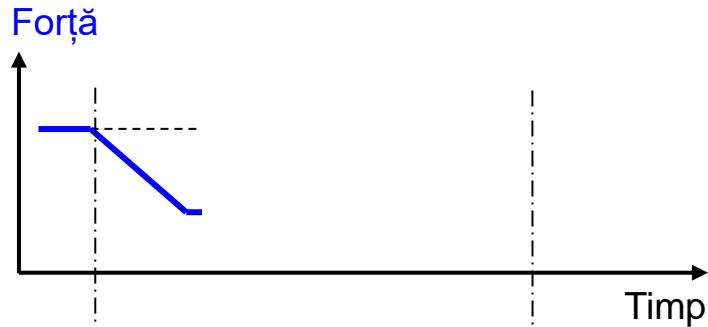
H. Frost 1964



1000 μ Str. 2000 μ Str.

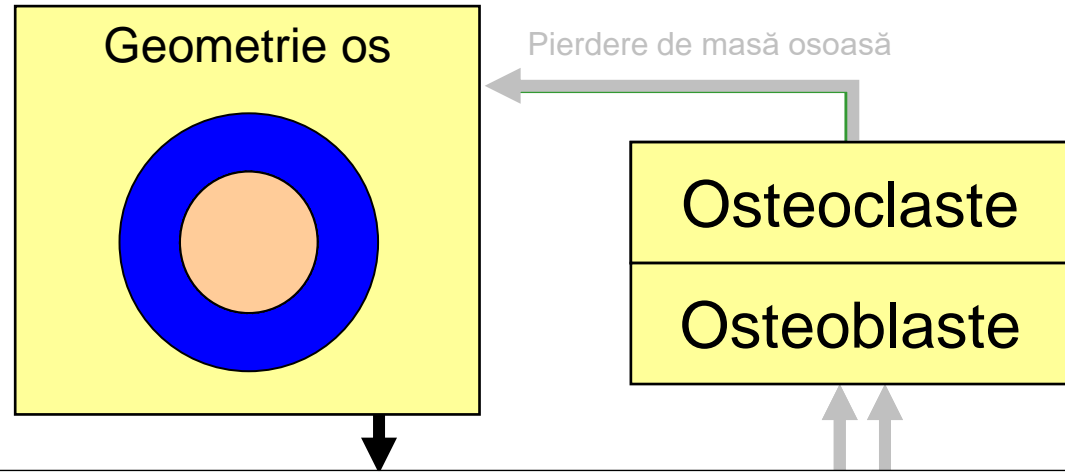
Mecanostat: bucla de control a adaptării osoase

Neutilizare: Stare de echilibru



Stare
Traniție

Stare de
echilibru



1) Pierderea forței maxime

2) Scăderea deformării

3) Activarea osteoclaștilor

4) Scăderea grosimii corticale

5) Noua stare de echilibru

- Scăderea grosimii corticale

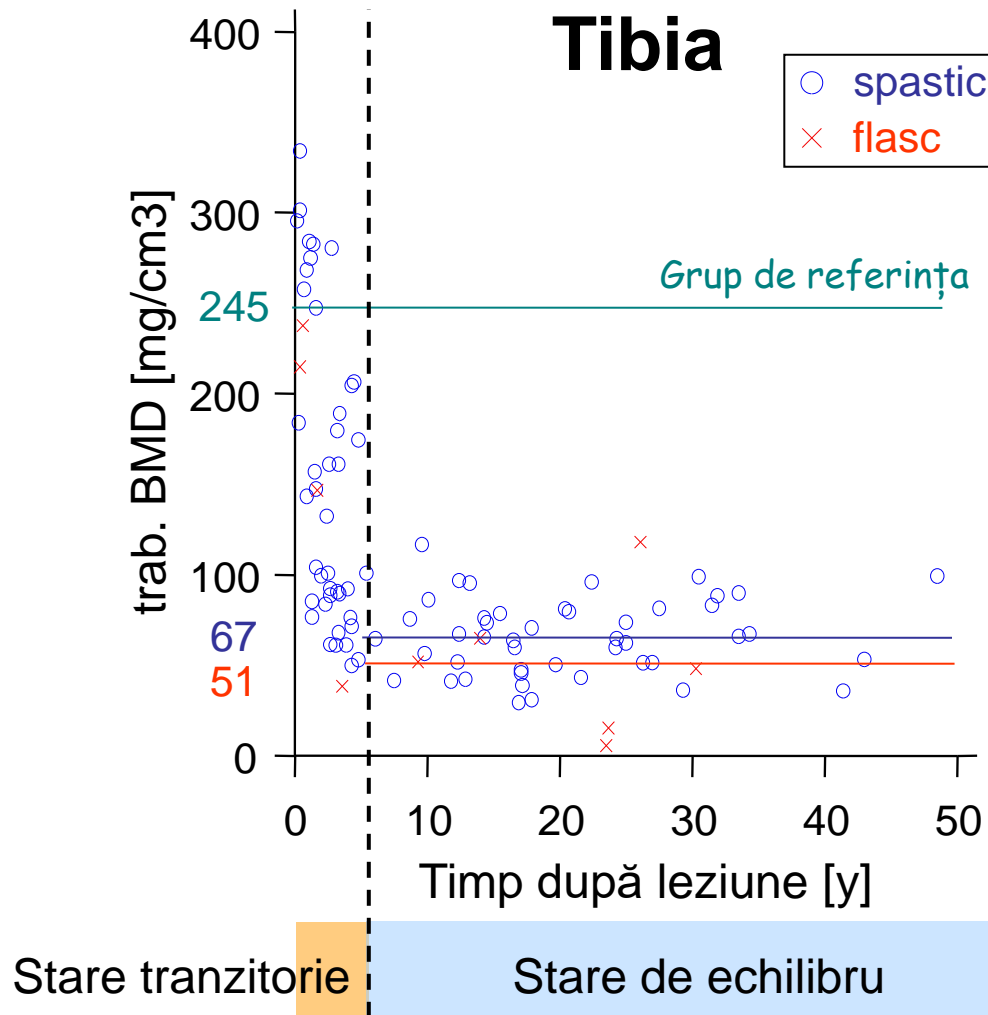
- Deformare în zona de confort

H. Frost 1964

1000 μ Str.

2000 μ Str.

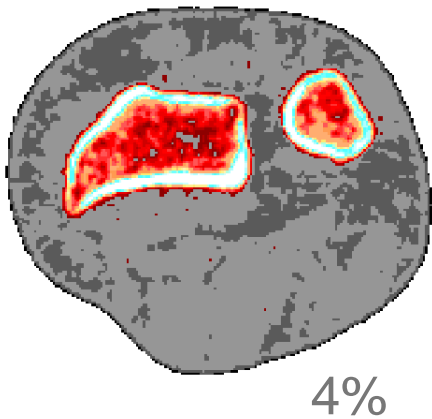
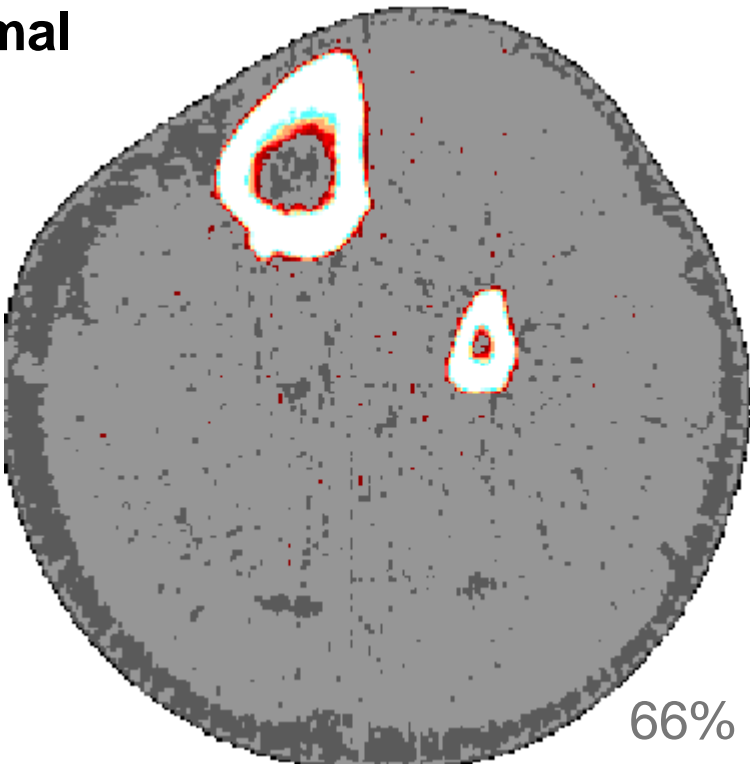
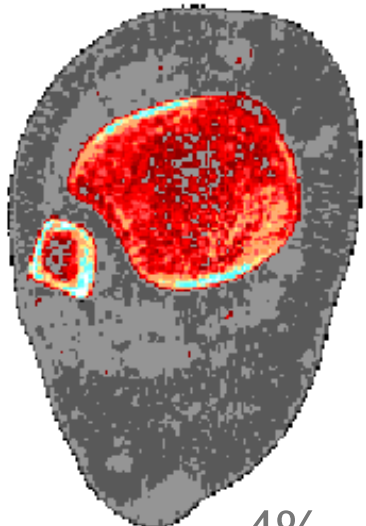
Exemplu de neutilizare: Adaptare la paraplegici



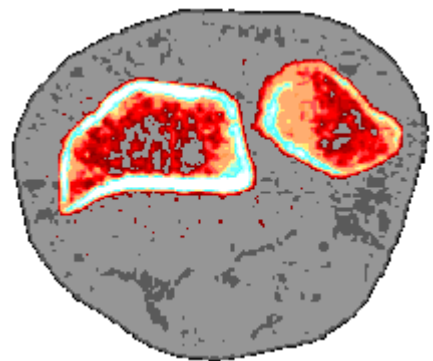
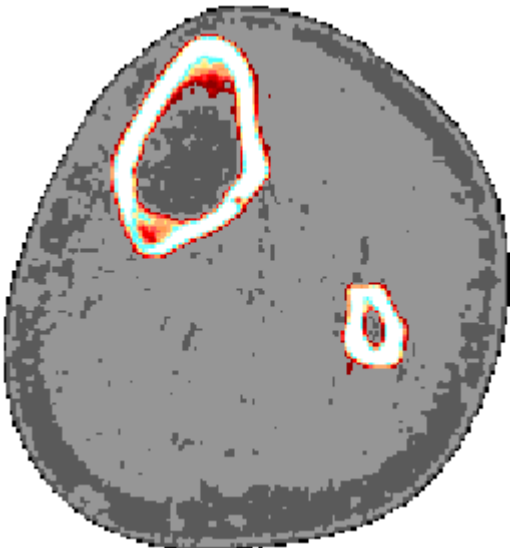
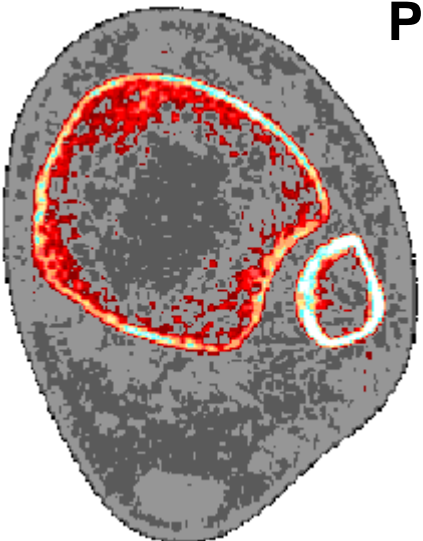
Tibia

Normal

Radius



Paraplegic



Polio: Nefolosire în timpul creșterii



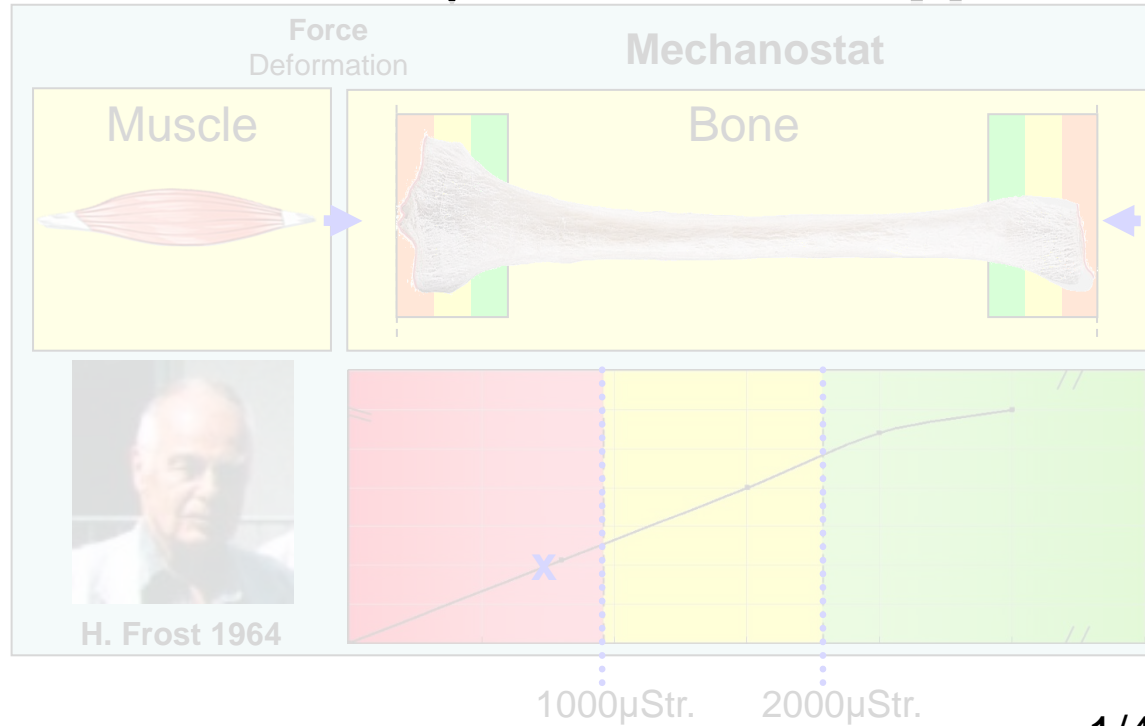
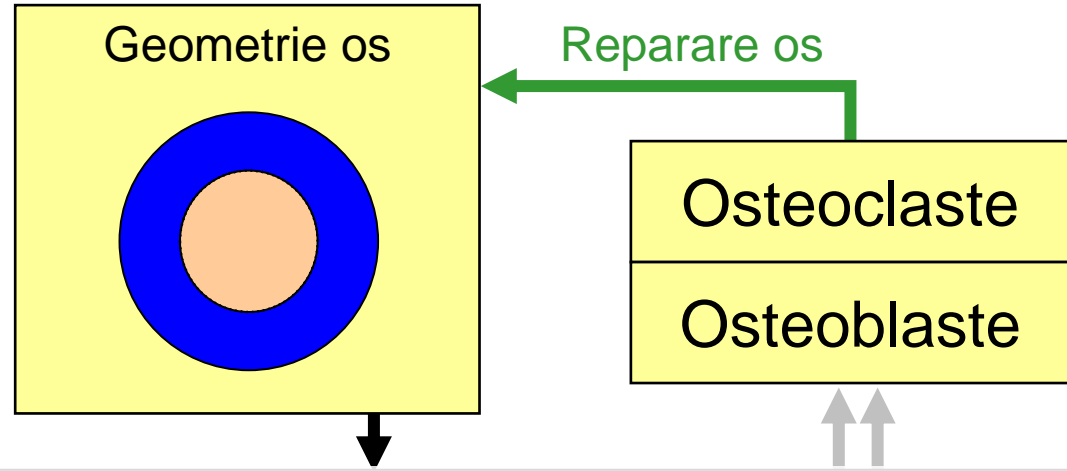
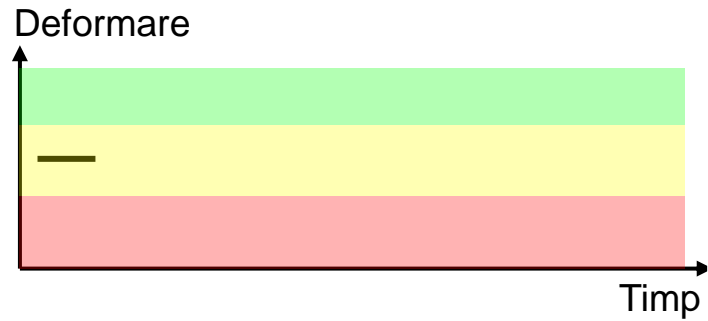
Scăderea lungimii membrelor datorită poliomielitei.

Exemplu de influențe hormonale:

**Schimbarea punctului de setare:
Pubertate**

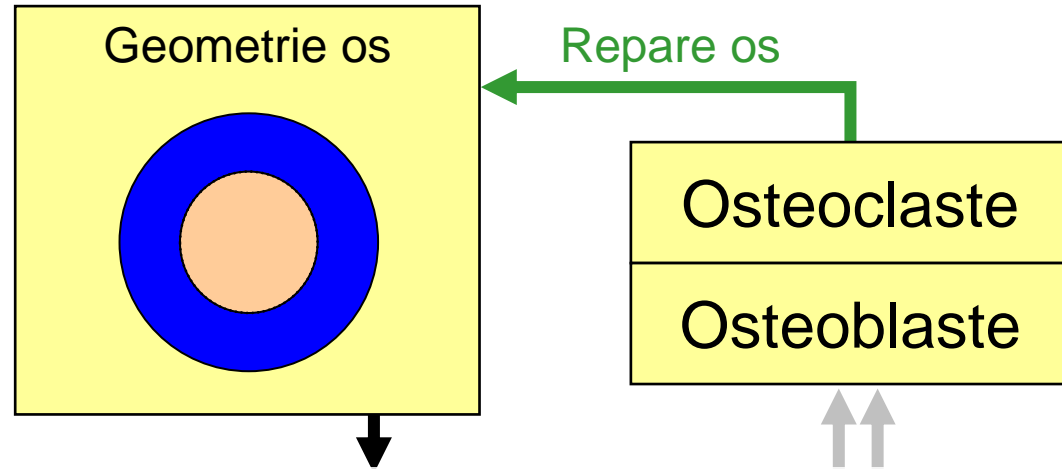
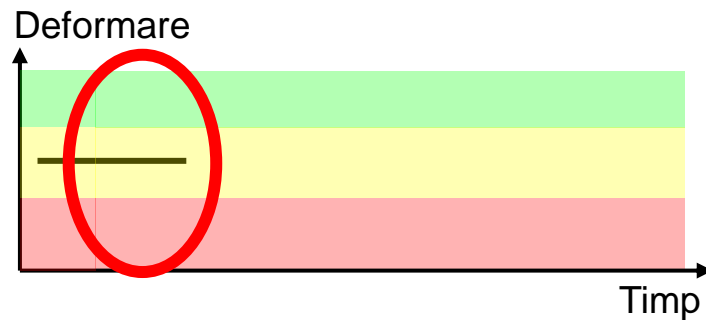
Mecanostat: bucla de control a adaptării osoase

Schimbare punct de setare în perioada pubertății: Stare de echilibru



Mecanostat: bucla de control a adaptării osoase

Schimbare punct de setare în perioada pubertății: Stare de echilibru



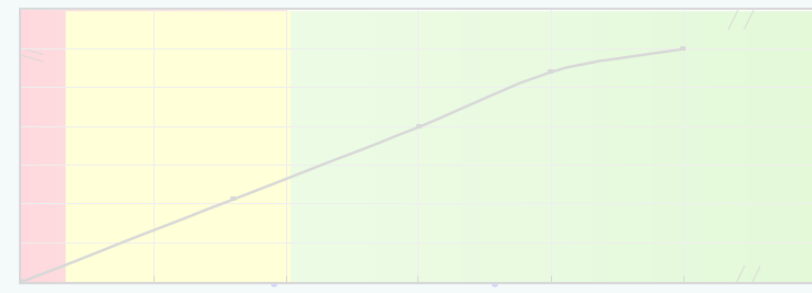
1) Schimbarea punctului de setare
- sistem mai sensibil la efort/deformare

2) Tensiune în afara zonei de confort

A diagram showing a bone with a stress distribution. A red shaded area on the left indicates high stress, while a green shaded area on the right indicates low stress. A vertical line is drawn through the bone, and a horizontal line is drawn across it, indicating a specific point of interest.



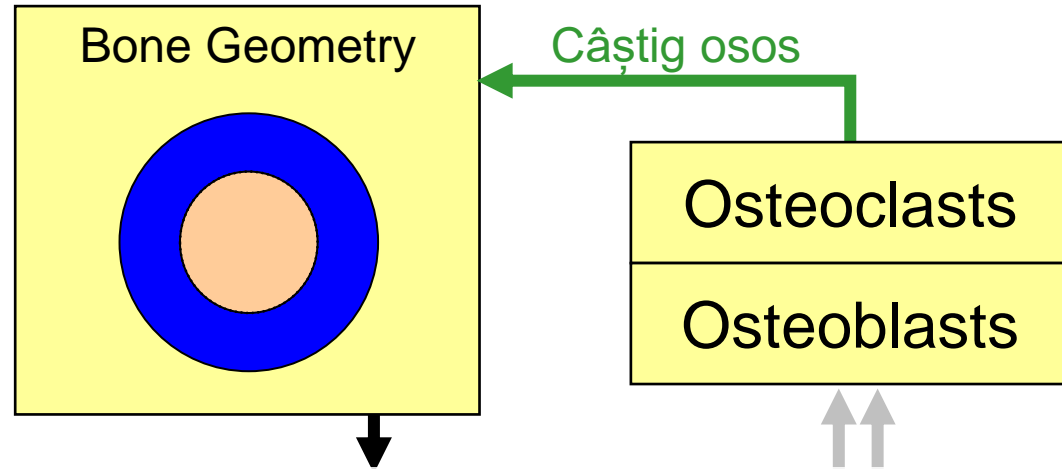
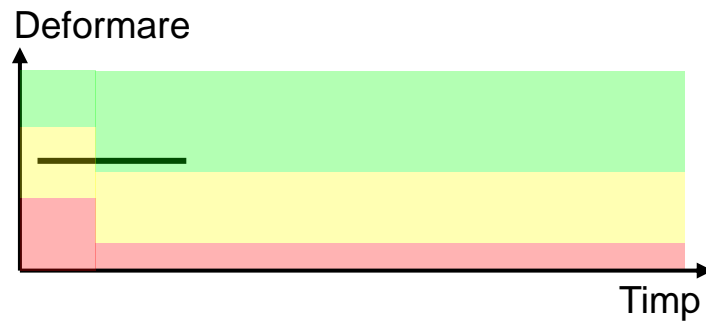
H. Frost 1964



1000 μ Str. 2000 μ Str.

Mecanostat: bucla de control a adaptării osoase

Schimbare punct de setare în perioada pubertății: Stare de echilibru



1) Schimbarea punctului de setare

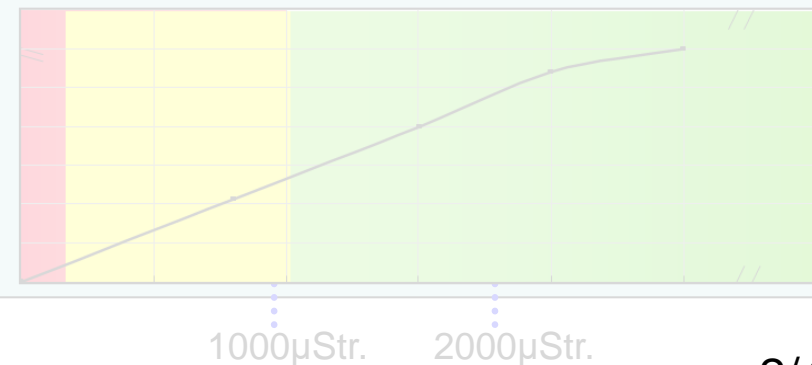
- Sistemul mai sensibil la deformare

2) Deformarea nu se află în zona de confort

3) Activarea osteoblastelor

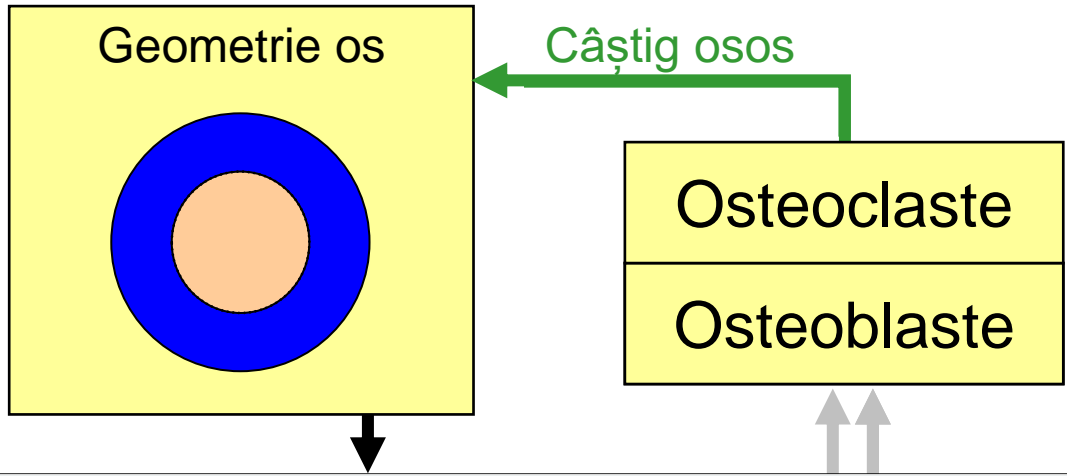
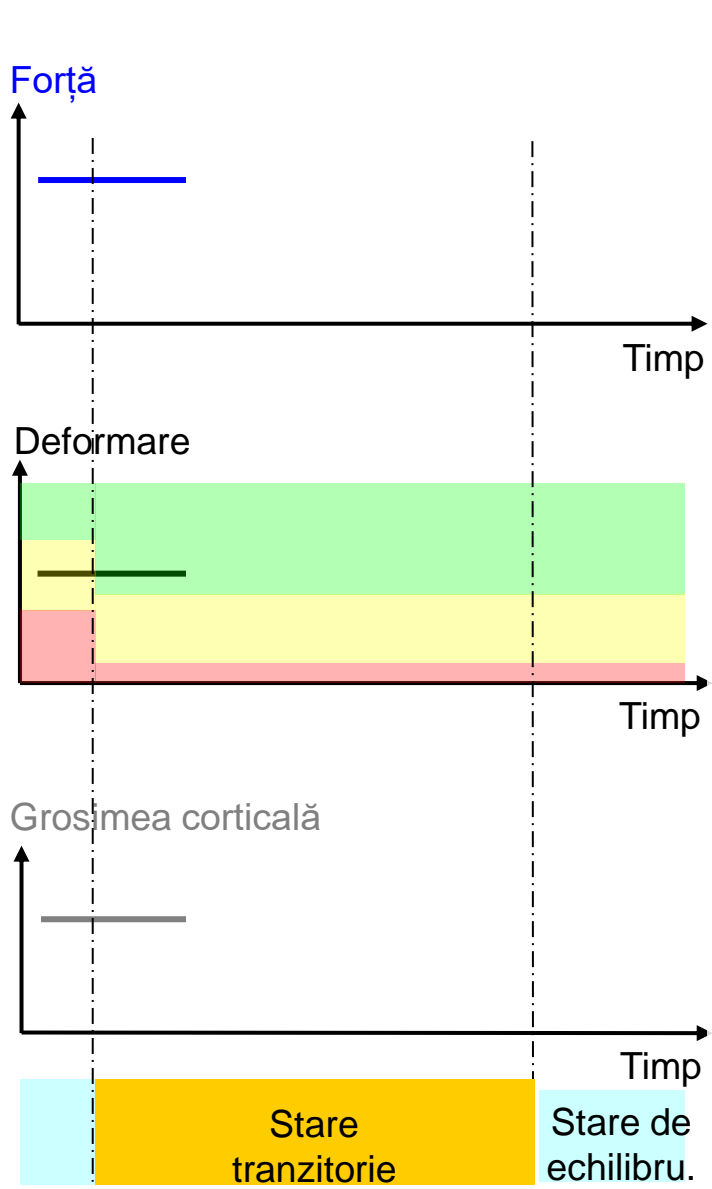


H. Frost 1964



Mecanostat: bucla de control a adaptării osoase

Schimbare punct de setare în perioada pubertății: Stare tranzitorie

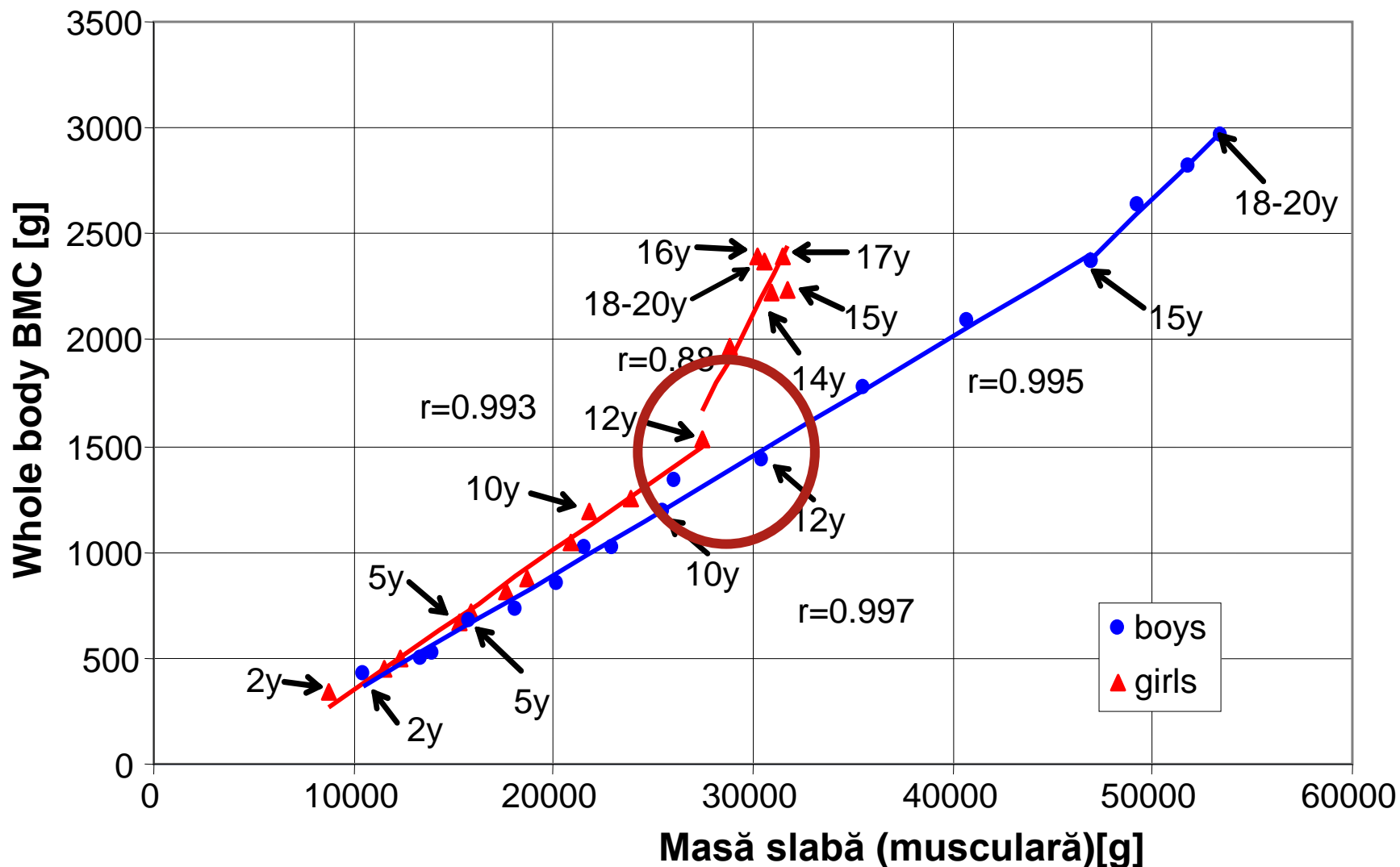


- 1) Schimbarea punctului de setare**
 - sistemul mai sensibil la deformare
- 2) Deformare în afara zonei de confort**
- 3) Activarea osteoblastelor**
- 4) Creșterea grosimii corticale**
- 5) Noua stare de echilibru**
 - creșterea grosimii corticale
 - deformare în zona de confort

H. Frost 1964

1000μStr. 2000μStr.

Masă musculară vs. masă osoasă la copii



J.R.Zanchetta et al. Bone 16: Supplement 1995, 393S-399S

H. Schießl, H.M. Frost, W.S.S. Jee

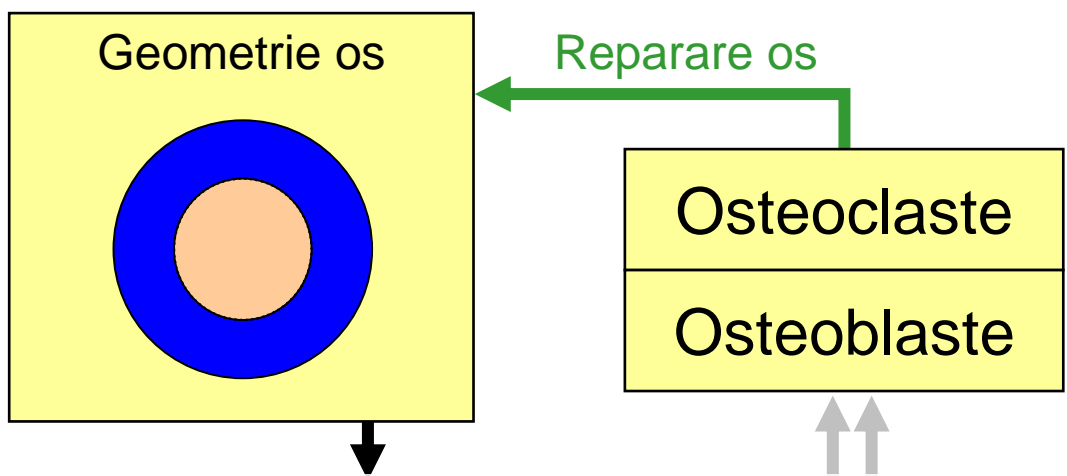
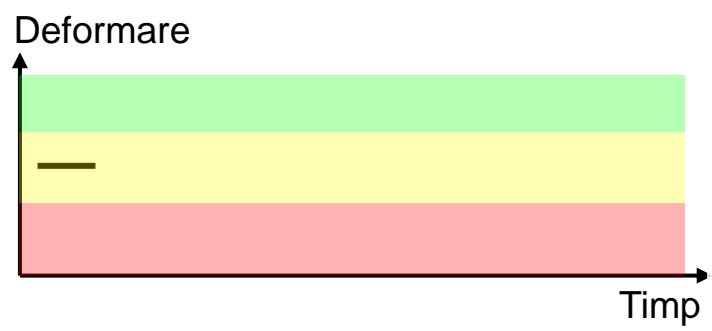
Bone (1998) 22: 1-6

Exemplu de influențe hormonale:

**Schimbarea punctului de setare:
Menopauză**

Mecanostat: bucla de control a adaptării osoase

Schimbarea punctului de setare în timpul menopauzei: Stare de echilibru



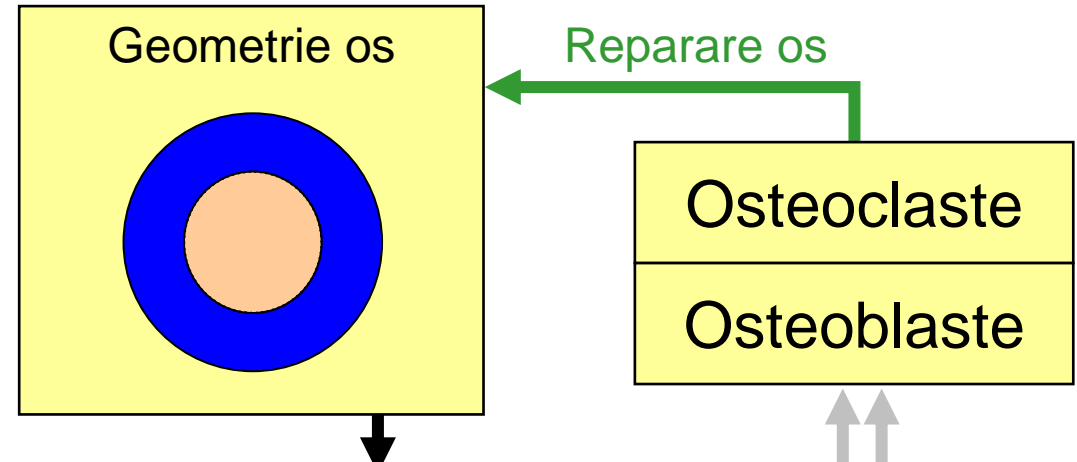
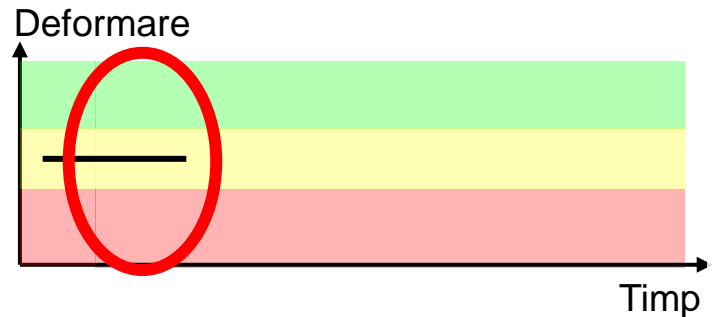
A diagram titled 'Mechanostat' illustrating the relationship between muscle and bone. On the left, a 'Muscle' is shown with a blue arrow pointing towards a 'Bone' on the right. The bone is shown between two vertical bars with green and red segments. Below this is a graph showing a curve of bone density versus strain. The graph has a red shaded region for strain below 1000 μ Str., a yellow region between 1000 and 2000 μ Str., and a green region above 2000 μ Str. A blue 'X' marks a point on the curve in the red region. A portrait of H. Frost is shown in the bottom left corner of the graph area.

H. Frost 1964

1000 μ Str. 2000 μ Str.

Mecanostat: bucla de control a adaptării osoase

Schimbarea punctului de setare în timpul menopauzei: Stare de echilibru



1) Stare de echilibru - sistemul mai puțin sensibil la deformare

2) Deformare în afara zonei de confort

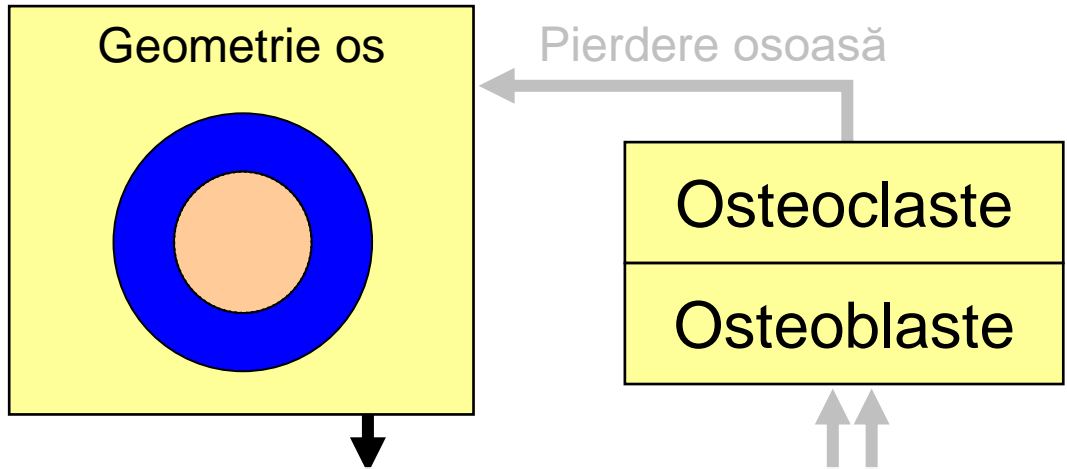
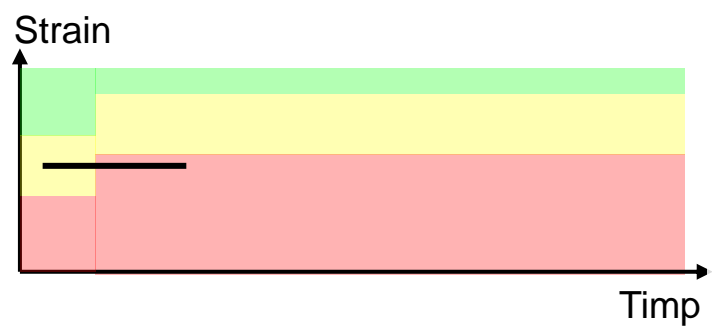
A diagram showing a bone under stress. A blue arrow points from a muscle on the left towards the bone, and another blue arrow points from the right towards the bone. The bone is shown in a state of strain.

H. Frost 1964

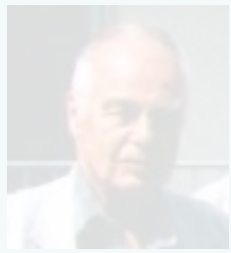
A graph showing the relationship between bone strain and bone response. The x-axis is labeled with '1000μStr.' and '2000μStr.'. The y-axis represents the bone response. The graph is divided into three vertical regions: red (low strain), yellow (intermediate strain), and green (high strain). A blue 'x' marks a point on the curve in the red region.

Mecanostat: bucla de control a adaptării osoase

Schimbarea punctului de setare în timpul menopauzei: **punctul de setare**



- 1) Set Schimbarea punctului de setare - sistemul mai puțin sensibil la deformare
- 2) Deformare în afara zonei de confort
- 3) Activarea osteoclaștilor

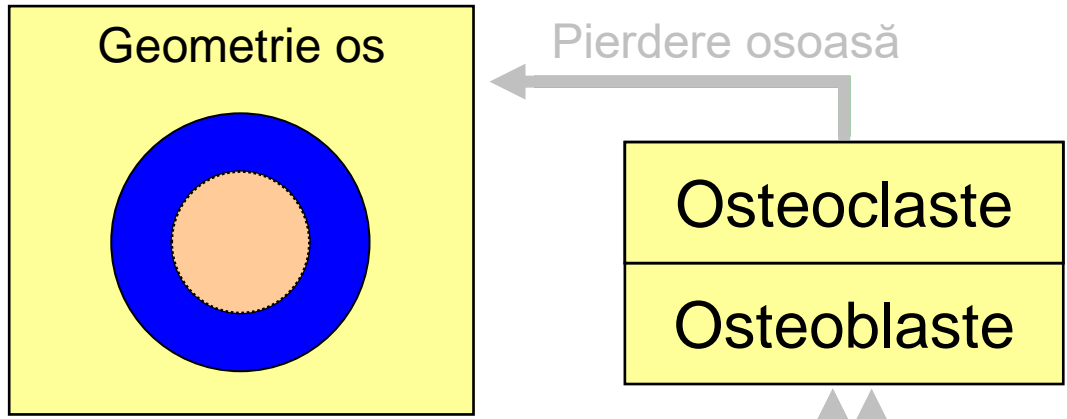
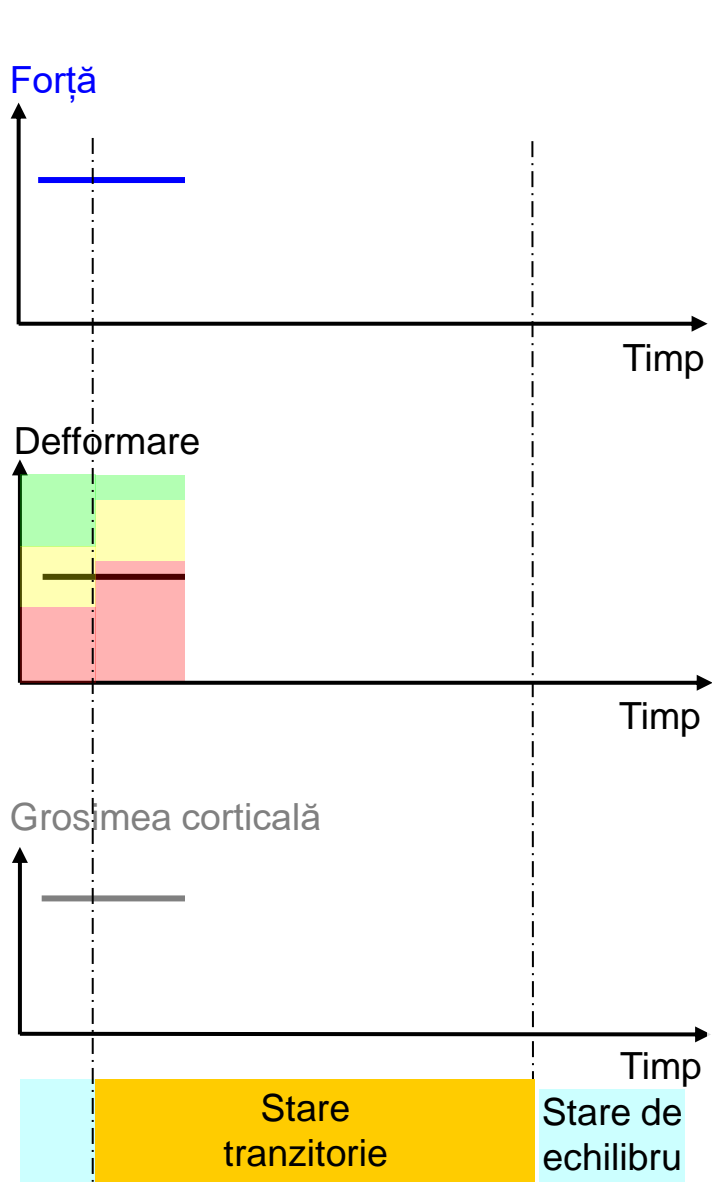


H. Frost 1964

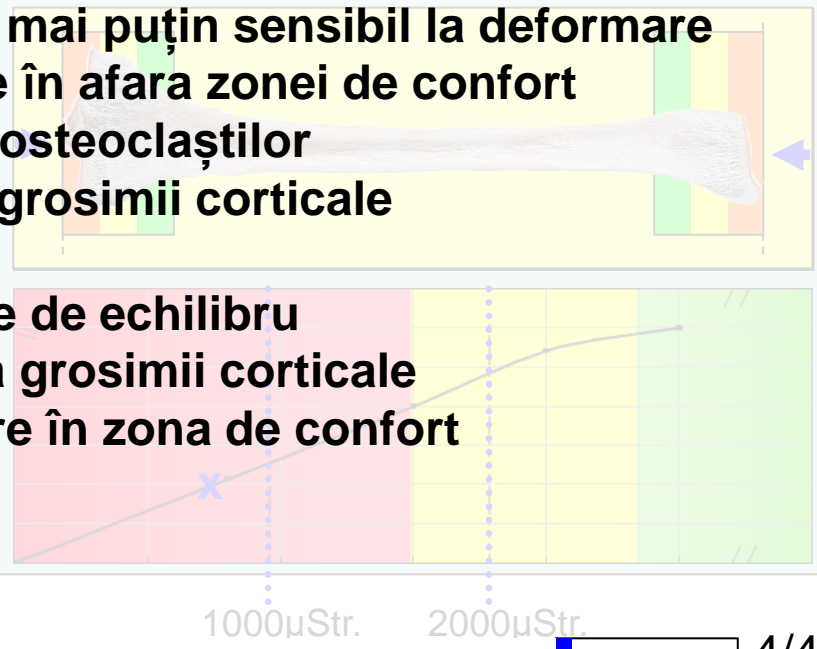


Mecanostat: bucla de control a adaptării osoase

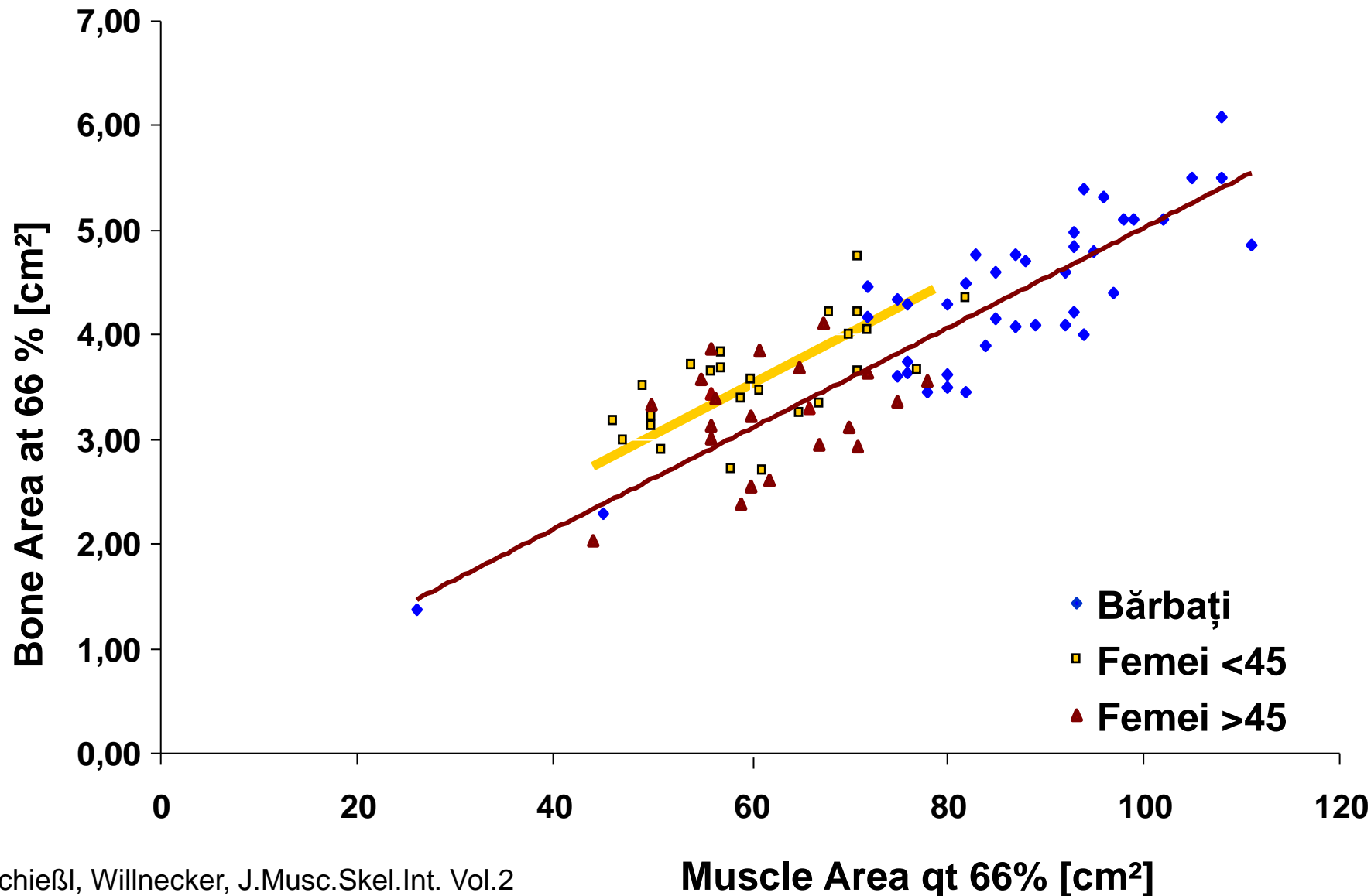
Schimbarea punctului de setare în timpul menopauzei: Stare tranzitorie



- 1) **Set Schimbarea punctului de setare**
- sistemul mai puțin sensibil la deformare
 - 2) **Deformare în afara zonei de confort**
 - 3) **Activarea osteoclaștilor**
 - 4) **Scăderea grosimii corticale**
 - 5) **Noua stare de echilibru**
- scăderea grosimii corticale
- deformare în zona de confort
- H. Frost 1964

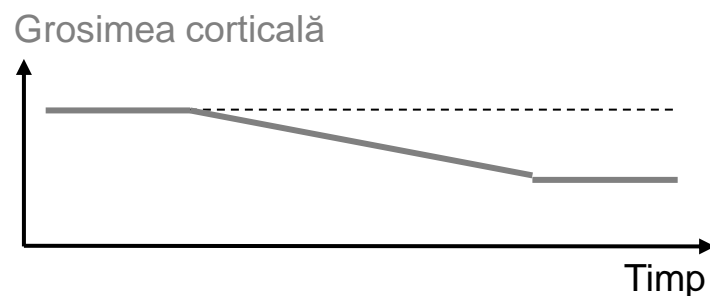
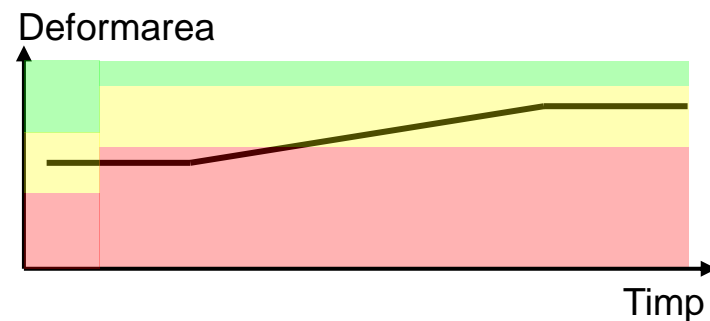
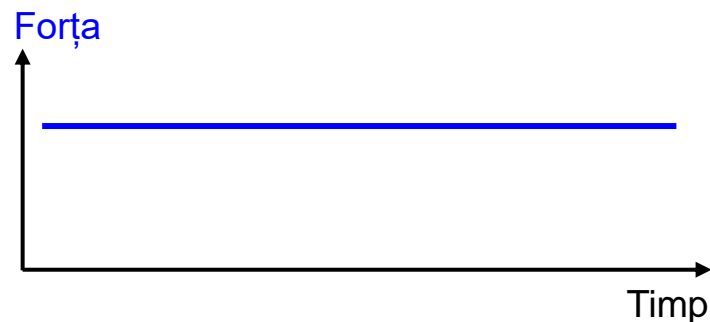


Aria osoasă vs. aria musculară la nivelul distal al tibiei (66%)



Consecințe clinice

Consecințele clinice ale adaptării osoase după menopauză sau a unei tulburări osoase primare



- Schimbarea punctului de ajustare (mai puțin sensibil la deformare)
Prag mai ridicat pentru remodelare.
- ➔ Cauzează pierderea osoasă cu aceeași forță
- ➔ Stresul și deformarea sunt ridicate după menopauză
- ➔ Număr mai mare de defecte datorită deformării mai mari
- ➔ Creșterea remodelării datorită numărului mai mare de defecte
- ➔ Rată ridicată de remodelare
Reducerea rezistenței osoase, creșterea riscului de fractură

Consecințele pentru practica clinică

- O creștere a masei osoase sau a rezistenței osoase nu va fi observată fără o creștere a forței maxime de vârf!
(cu excepția cazului în care punctul de setare a fost modificat, de exemplu, prin hormoni, medicamente ...)

Concluzii

- Osul este adaptat continuu la deformatiile maxime cauzate de forta maxima a muschiului (mecanostat)
- O creștere a forței voluntare maxime este posibilă numai în timpul creșterii sau după decondiționare
- Genele și hormonii pot modifica punctele de setare ale buclei de control (Mecanostat)
- **Diagnosticul rezistenței osoase trebuie să fie legat de forța musculară - nu de vârstă.**

Multumim pentru atentie!