



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 52812

(13) C2

(51) 7 A61B6/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

## (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ МІНЕРАЛЬНОЇ НАСИЧЕНОСТІ ТКАНИН КІСТКИ

1

2

(21) 2000074512

(22) 27 07 2000

(24) 15 01 2003

(46) 15 01 2003, Бюл. №1, 2003р

(72) Авер'янова Лілія Олександрівна, Головенко  
Валерій Михайлович, Скляр Ольга Ігорівна, Шар-  
мазанова Олена Петрівна(73) Харківський державний технічний університет  
радіоелектроніки (ХТУРЕ), Харківська медична  
академія післядипломної освіти(56) SU A 1671270 23 08 91, RU C1 2136214  
10 09 99

(57) Спосіб визначення мінеральної насиченості  
тканин кістки в круглій трубчастій кістці, що вклю-  
чає рентгенографію та денситометрію кістки, що  
досліджується, клина-еталона, який розміщують  
на рівні кістки, в проекції м'яких тканин, причому  
щаблі клина розміщують паралельно довжині кіст-  
ки, проведення денситографії вздовж лінії, яка  
перпендикулярна довжині кістки та щаблям клина-  
еталона, вимірюють горизонтальну відстань між  
максимальними вертикальними розмірами денси-  
тограми кістки  $d$ , горизонтальну відстань між ниж-  
німи кінцями денситограми кістки  $D$ , який **відріз-**  
**няється** тим, що вимірюють висоту денситограми  
середини кістки  $P_{\min}$ , висоту щаблів денситограми  
клина-еталона  $R_{\text{кл}3}$  та  $R_{\text{кл}4}$ , які лежать вище та  
нижче висоти денситограми середини кістки, ви-  
значають висоту денситограми для точки  $P_{D-d}$ , аб-

сциса якої визначається як  $X_{D-d} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{d(2D-d)}$

відносно середини кістки, висоту щаблів денсито-  
грами клина-еталона  $R_{\text{кл}5}$  та  $R_{\text{кл}6}$ , які лежать вище  
та нижче висоти денситограми  $P_{D-d}$ , визначають  
товщину клина-еталона для вибраних щаблів  $A_4$ ,  
 $A_6$ , а величини мінеральної щільності тканин кістки  
в медулярній порожнині  $M_{\text{мп}}$ , в кортикальному ша-  
рі  $M_{\text{кш}}$  та їх співвідношення  $G$  визначають за фор-  
мулами

$$M_{\text{мп}} = \frac{K_1 * K_2 * P_{\text{ал}}}{d} * \left[ A_4 - A_6 + h_{\text{кл}} \left( \frac{P_{\min} - R_{\text{кл}4}}{R_{\text{кл}5} - R_{\text{кл}4}} - \frac{P_{D-d} - R_{\text{кл}6}}{R_{\text{кл}5} - R_{\text{кл}6}} \right) \right],$$

$$M_{\text{кш}} = \frac{K_1 * K_2 * P_{\text{ал}}}{D-d} * \left( A_6 + h_{\text{кл}} \frac{P_{D-d} - R_{\text{кл}6}}{R_{\text{кл}5} - R_{\text{кл}6}} \right),$$

$$G = \left( \frac{D-d}{d} \right) * \left( \frac{\frac{A_4}{h_{\text{кл}}} + \frac{P_{\min} - R_{\text{кл}4}}{R_{\text{кл}5} - R_{\text{кл}4}}}{\frac{A_6}{h_{\text{рк}}} + \frac{P_{D-d} - R_{\text{кл}6}}{R_{\text{кл}5} - R_{\text{кл}6}}} \right),$$

де  $K_1$  - відношення коефіцієнтів масового погли-  
нання рентгенівських променів гідроксиапатитом і  
алюмінієм,

$K_2$  - лінійний масштабний коефіцієнт денситогра-  
ми, який розраховується як відношення ширини  
 $V_{\text{ден}}$  щабля (см) на денситограмі клина-еталона до  
ширини щабля  $V_{\text{етал}}$  на самому клині, тобто  
 $K_2 = V_{\text{ден}} / V_{\text{етал}}$ ,

$P_{\text{ал}}$  - щільність алюмінію,

$R_{\text{кл}3}$  - висота щабля денситограми клина, який  
розміщений вище  $P_{\min}$ , см,

$R_{\text{кл}4}$  - висота щабля денситограми клина, який  
розміщений нижче  $P_{\min}$ , см,

$R_{\text{кл}5}$  - висота щабля денситограми клина, який  
розміщений вище  $P_{D-d}$ , см,

$R_{\text{кл}6}$  - висота щабля денситограми клина, який  
розміщений нижче  $P_{D-d}$ , см,

$h_{\text{кл}}$  - крок щаблів клина-еталона по товщині, см,

$A_4$  - товщина клина-еталона, яка відповідає рівню  
 $R_{\text{кл}4}$ , см,

$A_6$  - товщина клина-еталона, яка відповідає рівню  
 $R_{\text{кл}6}$ , см,

$P_{\min}$  - висота денситограми середини кістки з абс-  
цисою  $x = 0$ , см,

$P_{D-d}$  - висота денситограми кістки з абсцисою  $X_{D-d}$ ,  
см,

$D$  - горизонтальна відстань між нижніми кінцями  
денситограми кістки, см,

$d$  - горизонтальна відстань між максимальними  
вертикальними розмірами денситограми кістки, см

Винахід відноситься до галузі медичної рент-  
генології. Може використовуватись при визначенні

мінеральної насиченості тканин в круглих трубчас-  
тих кістках

(13) C2

(11) 52812

(19) UA

Є відомим спосіб визначення мінеральної насиченості кісткової тканини, в якому проводиться аналіз кісткового біоптату, де зразок кісткового біоптату озолювали у муфельній печі, у золі визначали з перерахунком на сухий залишок вміст окремих елементів, дослідження проводили методом емісійного спектрального аналізу [Е. П. Пдрусняк. Возрастные изменения суставов человека – К. Здоров'я, 1972 – С. 212]

До недоліків цього способу відноситься інвазивність (нанесення травми пацієнту), великі затрати часу на взяття біоптату, підготовки цієї проби до аналізу (до 3 днів), використання різних хімічних препаратів для обробки біоптату та проведення самого аналізу. Крім того біоптат береться в визначених стандартних місцях кистяка, стан яких не завжди точно співвідноситься зі станом інших кісток.

Найбільш близьким за сукупністю ознак є спосіб визначення мінеральної насиченості кісткової тканини [а. с. СССР №1671270 "Способ определения минеральной насыщенности костной ткани" Бюл. №31 от 23.08.1991], за яким мінеральну насиченість кісткової тканини визначають шляхом рентгенографії та денситометрії другої п'ястної кістки, що досліджується, клину - еталону, який розміщують на рівні кістки, що досліджується, в проекції м'яких тканин, при чому шаблї клину розміщують паралельно довжині кістки, проводять денситографію вздовж лінії, яка перпендикулярна довжині кістки, що досліджується, та шаблї клину - еталону, вимірюють максимальну висоту денситограми кістки, висоту шаблїв денситограми клину - еталону, які лежать вище та нижче максимальної висоти кістки, горизонтальну відстань між максимальними вертикальними розмірами денситограми кістки, горизонтальну відстань між нижніми кінцями денситограми кістки, а величину  $M$  мінеральної насиченості кістки визначають за формулою

$$M = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot P_{Al}}{\sqrt{D^2 - d^2}} \cdot \left[ A_1 + \frac{(A_1 - A_2) \cdot (P_K - P_{K12})}{P_{K11} - P_{K12}} \right] \quad (1)$$

де  $K_1$  - відношення коефіцієнтів масового поглинання рентгеновських променів гідроксиапатитом і алюмінієм,

$K_2$  - лінійний масштабний коефіцієнт денситограм,

$P_{Al}$  - щільність алюмінію,

$P_{K11}$  - висота шаблї денситограми клину, який розміщений вище  $P_K$ , см,

$P_{K12}$  - висота шаблї денситограми клину, який розміщений нижче  $P_K$ , см,

$A_1$  - товщина верхнього шаблї еталонного клину, см,

$A_2$  - товщина нижнього шаблї еталонного клину, см,

$P_K$  - максимальна висота денситограми кістки, см,

$D$  - горизонтальна відстань між нижніми кінцями денситограм кістки, см,

$d$  - горизонтальна відстань між максимальними вертикальними розмірами денситограм кістки, см

Недоліком найбільш близького аналогу є те, що мінеральна насиченість тканин кістки визнача-

ється лише в кортикальному шарі кістки, в той час як зміна щільності тканини в медулярній порожнині не контролюється взагалі, крім того, немає можливості простежити за співвідношенням величин мінеральної щільності обох шарів круглої трубчастості кістки

В основу винаходу поставлено задачу у спосіб визначення мінеральної насиченості кісткової тканини в круглій трубчастій кістці шляхом введення нових розрахунків за спеціальними формулами можливо визначити величини мінеральної щільності тканин в медулярній порожнині, в кортикальному шарі та їх співвідношення

Ця задача вирішена наступним чином

У спосіб визначення мінеральної насиченості кісткової тканини в круглій трубчастій кістці, що включає рентгенографію та денситометрію кістки, що досліджується, клину - еталону, який розміщують на рівні кістки, що досліджується, в проекції м'яких тканин, причому шаблї клину розміщують паралельно довжині кістки, проведення денситографії вздовж лінії, яка перпендикулярна довжині кістки, що досліджується, та шаблїв клину - еталону, вимірюють висоту денситограми середини кістки  $P_{мп}$  (максимум товщини кістки), висоту шаблїв денситограми клину - еталону  $P_{КЛ3}$  та  $P_{КЛ4}$ , які лежать вище та нижче висоти денситограми середини кістки, горизонтальну відстань між максимальними вертикальними розмірами денситограми кістки  $d$ , горизонтальну відстань між нижніми кінцями денситограм кістки  $D$ , визначають висоту денситограми для точки  $P_{D-d}$  абсциса якої визначається відносно середини кістки як

$$X_{D-d} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{d(2D-d)} \quad (\text{в цій точці товщина кортикального шару така ж сама як і в середині кістки, а}$$

товщина шару тканин медулярної порожнини рівна нулю), висоту шаблїв денситограми клину - еталону  $P_{КЛ5}$  та  $P_{КЛ6}$ , які лежать вище та нижче висоти денситограми  $P_{D-d}$  визначають товщину клину - еталону для вибраних шаблїв  $A_4$   $A_6$  а величини мінеральної щільності тканин в медулярній порожнині  $M_{мп}$  в кортикальному шарі  $M_{кл}$  та їх співвідношення  $G$  визначають за формулами

$$M_{мп} = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot P_{Al}}{d} \cdot \left[ A_1 + h_{K1} \cdot \frac{P_{мп} - P_{K4}}{P_{K11} - P_{K12}} + \frac{P_{K4} - P_{K12}}{P_{K11} - P_{K12}} \right] \quad (2)$$

$$M_{кл} = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot P_{Al}}{D-d} \cdot \left[ A_1 + h_{K2} \cdot \frac{P_{D-d} - P_{K6}}{P_{K11} - P_{K12}} \right] \quad (3)$$

$$G = \left( \frac{D-d}{d} \right) \cdot \frac{\left( \frac{A_4 + P_{мп} - P_{K4}}{h_{K1} + \frac{P_{мп} - P_{K4}}{P_{K11} - P_{K12}}} \right)}{\left( \frac{A_6 + P_{D-d} - P_{K6}}{h_{K2} + \frac{P_{D-d} - P_{K6}}{P_{K11} - P_{K12}}} \right)} \quad (4)$$

де  $K_1$  - відношення коефіцієнтів масового поглинання рентгеновських променів гідроксиапатитом і алюмінієм,  $K_1 = 0,561$ ,

$K_2$  - лінійний масштабний коефіцієнт денситограм, який розраховується як відношення ширини  $V_{ден}$  шаблї (см) на денситограмі клину - еталону до ширини шаблї  $V_{етал}$  на самому клині, тобто  $K_2 = V_{ден}/V_{етал}$ ,

$P_{Al}$  - щільність алюмінію,  $P_{Al} = 2,7 \text{ г/см}^3$ ,

$P_{КЛ3}$  - висота шаблї денситограми клину, який розміщений вище  $P_{мп}$ , см,

$P_{KL4}$  - висота щаблю денситограми клину, який розміщений нижче  $P_{min}$ , см,

$P_{KL5}$  - висота щаблю денситограми клину, який розміщений вище  $P_{D-d}$ , см,

$P_{KL6}$  - висота щаблю денситограми клину, який розміщений нижче  $P_{D-d}$ , см,

$h_{KL}$  - крок товщини щаблів клину-еталону, см,

$A_4$  - товщина клину - еталону, яка відповідає рівню  $P_{KL4}$ , см,

$A_6$  - товщина клину - еталону, яка відповідає рівню  $P_{KL6}$ , см,

$P_{min}$  - висота денситограми середини кістки з абсцисою  $x = 0$ , см,

$P_{D-d}$  - висота денситограми кістки з абсцисою

$$x_{D-d} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{d(2D-d)}, \text{ см,}$$

$D$  - горизонтальна відстань між нижніми кінцями денситограми кістки, см,

$d$  - горизонтальна відстань між максимальними вертикальними розмірами денситограми кістки, см

Обґрунтування способу визначення мінеральної щільності тканин в круглій трубчастій кістці

Для кількісного визначення ступеню мінералізації кісткових структур використовується формула [К М Шерепо Минеральное насыщение диафиза бедренной кости после эндопротезирования тазобедренного сустава Ж «Медтехника», №2, 2000, С 28 - 31]

$$P_{HA} = \frac{0,561 \cdot p \cdot d_{HA}}{d_{HA}} \quad (5)$$

де  $P_{HA} = M$  - мінеральна щільність тканин кістки за щільністю гідроксиапатиту в точці, що досліджується ( $г/см^3$ ),

$0,561 = K_1$  - відношення коефіцієнтів масового поглинання рентгенівських променів гідроксиапатитом і алюмінієм,

$p = P_{AL}$  - щільність алюмінію,  $P_{AL} = 2,7 \text{ г/см}^3$ ,

$d_{AL}$  - товщина алюмінієвого еквіваленту відповідної ділянки кістки за її рентгенограмою,

$d_{HA}$  - товщина кістки за її рентгенограмою, тобто у позначеннях, прийнятих у прототипі, вираз(5) матиме вигляд

$$M = \frac{K_1 \cdot P_{AL} \cdot d_{AL}}{d_{HA}} \quad (6)$$

Порівняно з виразами(1) (2) та (3) у виразі(6) відсутній масштабний коефіцієнт  $K_2$ , який, з точки зору авторів, є правомірним, тобто вираз(6) може бути уточнений та записаний у вигляді

$$M = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot P_{AL} \cdot d_{AL}}{d_{HA}} \quad (7)$$

Для визначення мінеральної щільності шарів тканин круглої трубчастої кістки у її діафізі потрібно у виразі(7) визначити  $d_{HA}$  та  $d_{AL}$  для кожного з шарів в середині кістки для медулярної порожни-

ни -  $d_{HA} = d$ , а для кортикального шару -  $d_{HA} = D - d$

На фіг 1 зображено денситограму кістки

На фіг 2 зображено нормальний перетин діафізу круглої трубчастої кістки

На фіг 3 зображено денситограму клину - еталону

На фіг 4 зображено профіль клину - еталону

Товщина алюмінієвого еквіваленту для медулярної порожнини  $d_{AL} = d_{AL_0}$  за рентгенограмою може бути визначена як різниця між товщинами алюмінієвих еквівалентів в середині кістки

$$d_{AL_0} = d_{AL_{min}} = d_{AL_{D-d}} \quad (8)$$

де  $d_{AL_{min}}$  - алюмінієвий еквівалент кістки в її середині кістки, визначений за методикою прототипу

$$d_{AL_{min}} = A_4 + \frac{A_5 - A_4}{P_{KL5} - P_{KL4}} \cdot (P_{min} - P_{KL4}) = A_4 + \frac{h_{KL}}{P_{KL5} - P_{KL4}} \cdot (P_{min} - P_{KL4}) \quad (9)$$

а  $d_{AL_{D-d}}$  - алюмінієвий еквівалент кортикального шару кістки в її середині, визначений за методикою прототипу

$$d_{AL_{D-d}} = A_4 + \frac{A_5 - A_4}{P_{KL5} - P_{KL4}} \cdot (P_{D-d} - P_{KL4}) = A_4 + \frac{h_{KL}}{P_{KL5} - P_{KL4}} \cdot (P_{D-d} - P_{KL4}) \quad (10)$$

тоді, враховуючи(9), (10), визначимо за(8)

$$d_{AL_0} = A_4 + \frac{h_{KL}}{P_{KL5} - P_{KL4}} \cdot (P_{min} - P_{KL4}) - A_4 + \frac{h_{KL}}{P_{KL5} - P_{KL4}} \cdot (P_{D-d} - P_{KL4}) = A_4 - A_4 + h_{KL} \cdot \left( \frac{P_{min} - P_{KL4}}{P_{KL5} - P_{KL4}} - \frac{P_{D-d} - P_{KL4}}{P_{KL5} - P_{KL4}} \right) \quad (11)$$

з(7) та (11) отримаємо вираз для визначення величини мінеральної щільності тканини у медулярній порожнині

$$M_{min} = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot P_{AL}}{d} \cdot \left\{ A_4 - A_4 + h_{KL} \cdot \left( \frac{P_{min} - P_{KL4}}{P_{KL5} - P_{KL4}} - \frac{P_{D-d} - P_{KL4}}{P_{KL5} - P_{KL4}} \right) \right\} \quad (2)$$

з(7) та (10) отримаємо вираз для визначення величини мінеральної насиченості тканини у кортикальному шарі

$$M_{KSH} = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot P_{AL}}{D-d} \cdot \left( A_4 + h_{KL} \cdot \frac{P_{D-d} - P_{KL4}}{P_{KL5} - P_{KL4}} \right) \quad (3)$$

Введемо показник  $G$ , який характеризує співвідношення величин мінеральної насиченості шарів трубчастої кістки

$$G = \frac{M_{min}}{M_{KSH}} = \left( \frac{D-d}{d} \right) \cdot \left( \frac{A_4 + \frac{P_{min} - P_{KL4}}{h_{KL}}}{A_4 + \frac{P_{D-d} - P_{KL4}}{h_{KL}}} - 1 \right) \quad (4)$$

Порівняльний аналіз способу визначення мінеральної насиченості тканин кістки з прототипом вказує, що він суттєво відрізняється від прототипу тим, що дає можливість визначити величини мінеральної насиченості у двох шарах круглої, трубчастої кістки та їх співвідношення

Приклад 1 пацієнтка С, 12р, жін Результати вимірів за денситограмами метакарпальної кістки та клину - еталону

d, см	D, см	$P_{min}$ , см	$P_{D-d}$ , см	$P_{KL3}$ , см	$P_{KL4}$ , см	$P_{KL5}$ , см	$P_{KL6}$ , см
0,381	0,822	0,538	0,407	0,551	0,369	0,551	0,369

Результати вимірів товщин клину - еталону

$A_4$ , см	$A_6$ , см	$h_{KL}$ , см
0,3	0,3	0,1

$$K_0=0.561, K_0=1, P_{0.01}=2.77 \text{ г/см}^2$$

$$M_{\text{пл}} = \frac{0.561 \cdot 1 \cdot 2.7}{0.381} \cdot \left[ 0.3 \cdot 0.3 + 0.1 \cdot \left( \frac{0.538-0.369}{0.551-0.369} \cdot \frac{0.407-0.369}{0.551-0.369} \right) \right] = 0.286 \text{ (г/см}^2\text{)}$$

$$M_{\text{пл}} = \frac{0.561 \cdot 1 \cdot 2.7}{0.822-0.381} \cdot \left[ (0.3+0.1) \cdot \frac{0.407-0.369}{0.551-0.369} \right] = 1.102 \text{ (г/см}^2\text{)}$$

$$G = \frac{0.286}{1.102} = 0.260$$

d, см	D, см	P <sub>плн</sub> , см	P <sub>D d</sub> , см	P <sub>кл3</sub> , см	P <sub>кл4</sub> , см	P <sub>кл5</sub> , см	P <sub>кл6</sub> , см
0,360	0,831	0,458	0,373	0,504	0,352	0,504	0,352

Результати вимірів товщин клину - еталону

A <sub>4</sub> , см	A <sub>6</sub> , см	h <sub>кл</sub> , см
0,3	0,3	0,1

Приклад 2 пацієнт С, 13р, чол Результати вимірів за денситограмами метакарпальної кістки та клину - еталону

$$K_0=0.561, K_0=1, P_{0.01}=2.77 \text{ г/см}^2$$

$$M_{\text{пл}} = \frac{0.561 \cdot 1 \cdot 2.7}{0.36} \cdot \left[ 0.3 \cdot 0.3 + 0.1 \cdot \left( \frac{0.458-0.352}{0.504-0.352} \cdot \frac{0.373-0.352}{0.504-0.352} \right) \right] = 0.233 \text{ (г/см}^2\text{)}$$

$$M_{\text{пл}} = \frac{0.561 \cdot 1 \cdot 2.7}{0.831-0.360} \cdot \left[ (0.3+0.1) \cdot \frac{0.373-0.352}{0.504-0.352} \right] = 1.009 \text{ (г/см}^2\text{)}$$

$$G = \frac{0.233}{1.009} = 0.231$$

Приклад 3 пацієнт Б, 14р, чол Результати вимірів за денситограмами метакарпальної кістки та клину - еталону

d, см	D, см	P <sub>плн</sub> , см	P <sub>D d</sub> , см	P <sub>кл3</sub> , см	P <sub>кл4</sub> , см	P <sub>кл5</sub> , см	P <sub>кл6</sub> , см
0.408	1.004	0.393	0.258	0.411	0.280	0.280	0.153

Результати вимірів товщин клину - еталону

A <sub>4</sub> , см	A <sub>6</sub> , см	h <sub>кл</sub> , см
0,4	0,3	0,1

$$K_0=0.561, K_0=1, P_{0.01}=2.77 \text{ г/см}^2$$

$$M_{\text{пл}} = \frac{0.561 \cdot 1 \cdot 2.7}{0.408} \cdot \left[ 0.4 \cdot 0.3 + 0.1 \cdot \left( \frac{0.393-0.280}{0.411-0.280} \cdot \frac{0.258-0.153}{0.280-0.153} \right) \right] = 0.385 \text{ (г/см}^2\text{)}$$

$$M_{\text{пл}} = \frac{0.561 \cdot 1 \cdot 2.7}{1.004-0.408} \cdot \left[ (0.3+0.1) \cdot \frac{0.258-0.153}{0.280-0.153} \right] = 0.973 \text{ (г/см}^2\text{)}$$

$$G = \frac{0.385}{0.973} = 0.395$$

В результаті проведених вимірювань за денситограмами метакарпальної кістки, клину - еталону та вимірів товщин відповідних щаблів самого клину - еталону розраховано величини мінераль-

ної насиченості тканин кістки за щільністю гідроксиапатиту та їх співвідношення

З прикладів видно, що за способом, який заявляється, можна визначити величини мінеральної насиченості тканин метакарпальної кістки як у медупярній порожнині, так і в кортикальному шарі, а також їх співвідношення

Спосіб, що заявляється, дозволяє визначити статистичні норми величин мінеральної насиченості тканин кістки в залежності від статі та віку, динаміку зміни цих величин при різних видах захворювань (остеопатії, ураження кісткового мозку) та оцінити ефективність засобів профілактики та лікування

