

Винахід відноситься до галузі медичної рентгенології, може використовуватись при діагностиці ступеню ураження остеопорозом.

Є відомим спосіб визначення ступеню захворюваності на остеопороз, в якому використовуються морфометричні індекси, які описані в методичних рекомендаціях: (Минерализация, рост и дифференцирование костного скелета у детей и подростков: Методические рекомендации / Министерство здравоохранения СССР, ГУ лечебно профилактической помощи детям и матерям. — М., 1980. — 44с.), де

$$IE = \frac{D^2 - d^2}{D \cdot L},$$

показано, що індекс Exton-Smith розраховується за формулою $IE = \frac{D^2 - d^2}{D \cdot L}$, де D та d – відповідно зовнішній та внутрішній діаметри другої п'ястної (метакарпальної) кістки кисті, а L - її довжина, причому виміри проводяться по зображенню другої метакарпальної кістки на рентгенограмі кисті, а значення індексу IE лежить у межах від 0,08 до 0,14.

До недоліків цього способу відноситься обмежений діапазон зміни значень індексу Exton-Smith, що призводить до нечіткої диференціації стадій захворювання на остеопороз.

Найбільш близьким за сукупністю ознак є спосіб визначення ступеню захворюваності на остеопороз, в якому використовується індекс Barnett-Nordin, або периферичний метакарпальний індекс (монографія "Остеопороз на Украине", В.В. Поворознюк, Е.П. Подрушняк, Е.В. Орлова, И.Д. Коштура, Е.И. Баяндина, г. Киев, 1995. — 47с.), який обчислюється за формулою:

$$IN = \frac{D - d}{D}, \quad (1)$$

де D та d - відповідно зовнішній діаметр другої п'ястної (метакарпальної) кістки кисті та діаметр її медулярної порожнини, виміри відповідних діаметрів проводяться по зображенню другої метакарпальної кістки на рентгенограмі кисті в найвужчому місці медулярної порожнини. Якщо IN знаходиться в межах від 0,5 до 0,6, то це - норма, якщо IN менше 0,45, то це є ознакою остеопоротичного процесу, коли IN менше 0,35, то це - різко виражений остеопороз, тобто цей індекс має діапазон від 0,6 до 0,2, причому хвороба діагностується при значеннях IN від 0,45 до 0,2, що дозволяє більш чітко диференціювати стадії захворювання на остеопороз.

Недоліком прототипу є також малий діапазон змін значень індексу, який є лінійною функцією і має однакову чутливість незалежно від стадії враження остеопорозом.

В основу винаходу поставлено задачу у способі діагностики захворювання на остеопороз шляхом введення нового розрахунку за спеціальною формулою ввести новий індекс з розширеним діагностичним діапазоном значень, що характеризує ступінь захворювання на остеопороз.

Ця задача вирішена наступним чином.

У способі діагностики захворювання на остеопороз, що включає вимірювання зовнішнього діаметру D другої метакарпальної кістки кисті та діаметру d її медулярної порожнини по зображенню другої метакарпальної кістки на рентгенограмі кисті в найвужчому місці медулярної порожнини, згідно винаходу

$$G = \sqrt{\frac{D+d}{D-d}} - 1,$$

індекс ступеню захворювання на остеопороз розраховують за формулою $G = \sqrt{\frac{D+d}{D-d}} - 1$, і якщо G знаходиться в межах від 0,53 до 0,73, то діагностують норму, якщо G знаходиться в межах від 0,74 до 0,86 - діагностують остеопенію, якщо G знаходиться в межах від 0,87 до 1,17 - діагностують чітко виражений остеопороз, а якщо G знаходиться в межах від 1,18 до 2,0 - діагностують тяжку форму остеопоротичного процесу.

Розглянемо більш детально цей спосіб.

На фіг.1 зображено нормальний перетин гомогенного циліндричного об'єкта.

На фіг.2 зображено нормальний перетин гетерогенного циліндричного об'єкта.

На фіг.3 зображено графіки функцій чутливості індексів IN та G при D=1см, при d більше нуля, але менше D. 1 - ζ_N , 2 - ζ_G .

Обґрунтування отримання індексу. Залежність між інтенсивністю рентгенівського випромінювання джерела I_0 та інтенсивністю випромінювання за об'єктом I_{np} має вигляд (Рентгеновские лучи / Под ред. М.А. Блохина — М.: Изд-во иностр.лит., 1960.):

$$I_{np} = I_0 e^{-\mu y} \quad (2)$$

де μ - лінійний коефіцієнт послаблення випромінювання в об'єкті, пропорційний щільності ρ об'єкта, y - товщина об'єкта, через який пройшло випромінювання в напрямку Y. У нормальному перетині об'єкта циліндричної форми у декартовій системі координат, де вісь Y співпадає з напрямком падіння випромінювання, а центр координат співпадає з центром нормального перетину (фіг.1) товщина y_i об'єкта буде

дорівнювати довжині хорди ab_i і визначатиметься, як $y_i = |ab_i| = 2\sqrt{r^2 - x^2}$, де r - радіус нормального перетину, x змінюється від (-r) до r. Для гомогенного циліндричного об'єкта ($\mu = \text{const}$) інтенсивність випромінювання за ефектом визначатиметься за (2) як:

$$I_{np} = I_0 e^{-2\mu\sqrt{r^2 - x^2}} \quad (3)$$

а для гетерогенного циліндричного об'єкта, де нормальний перетин має вигляд двох концентричних фігур

(фіг.2), для падаючого випромінювання товщина об'єкта в межах гетерогенної структури ($|x|$ менший або рівний r) визначатиметься як $y_i = y_{1i} - y_{2i}$, де y_{1i} - товщина внутрішнього шару, який має лінійний коефіцієнт послаблення μ_1 , y_{2i} - товщина зовнішнього шару, який має лінійний коефіцієнт послаблення μ_2 . Визначимо y_{1i}

та y_{2i} при $|x|$ меншому та рівному r: $y_{1i} = 2\sqrt{r^2 - x_i^2}$, $y_{2i} = 2\left(\sqrt{R^2 - x_i^2} - \sqrt{r^2 - x_i^2}\right)$, на межі шарів гетерогенної

структури $|x|$ дорівнює r , $y_{1i}=0$, а $y_{2i} = 2\sqrt{R^2 - r^2} = y_{2\max}$, за межами гетерогенності $|x|$ менший та рівний r або більший та рівний R товщина об'єкту y_i для падаючого випромінювання включає лише зовнішній шар та визначається як $y_{2i} = 2\sqrt{R^2 - x_i^2}$. Інтенсивність випромінювання за ефектом в межах гетерогенної структури

$$I_{\text{пр}} = I_0 e^{-2\left[\mu_1 \sqrt{r^2 - x^2} + \mu_2 \left(\sqrt{R^2 - x^2} - \sqrt{r^2 - x^2}\right)\right]}, \quad (4)$$

а за межами гетерогенності

$$I_{\text{пр}} = I_0 e^{-2\mu_2 \sqrt{R^2 - x^2}}. \quad (5)$$

Таким чином, з (2)-(5) для циліндричного об'єкта гетерогенної структури при $|x|$ менший та рівний R маємо:

$$I_{\text{пр}} = I_0 e^{-2\left[\delta_+(r-x)\mu_1 \sqrt{r^2 - x^2} + \mu_2 \left(\sqrt{R^2 - x^2} - \sqrt{r^2 - x^2}\right)\right]}, \quad (6)$$

$$\delta_+(r-x) = \begin{cases} 1 & \text{при } |x| \leq r \\ 0 & \text{при } r \leq |x| \leq R \end{cases}$$

де

Рентгенівське випромінювання, яке пройшло через об'єкт, зафіксоване на рентгенівській плівці з пропорційним розподіленням оптичної щільності зображення (Р.В. Ставицкий, И.М. Лебеденко, И.И. Бурдина. Применение рентгеновской сканирующей денситометрии и компьютерной томографии для оценки эффекта лечения опухоли. // Мед. техника. — 1995. — №3. — с.20-28.):

$$S = \gamma \ln I_{\text{пр}}, \quad (7)$$

де γ - коефіцієнт контрастності плівки. Визначимо за (7) розподіл оптичної щільності зображення гомогенного об'єкта циліндричної форми на рентгенівській плівці як:

$$S_{\text{еом}}(x) = S_1(x) - S_0 = 2\gamma \mu \sqrt{r^2 - x^2} - \gamma \ln I_0, \quad (8)$$

де S_0 - оптична щільність зображення падаючого випромінювання, а $S_1(x)$ - розподіл оптичної щільності зображення випромінювання, яке пройшло за об'єкт. Для гетерогенного об'єкта циліндричної форми розподіл оптичної щільності зображення за (6)-(8) буде мати вигляд:

$$S_{\text{еом}}(x) = S_1(x) + S_2(x) - S_0 = 2\gamma \left[\delta_+(r-x)\mu_1 \sqrt{r^2 - x^2} \right] + \\ + 2\gamma \mu_2 \left(\sqrt{R^2 - x^2} - \sqrt{r^2 - x^2} \right) - \gamma \ln I_0, \quad (9)$$

де $S_1(x)$ - розподіл оптичної щільності для внутрішнього шару гетерогенної структури, $S_2(x)$ - розподіл оптичної щільності для зовнішнього шару гетерогенної структури.

Якщо другу метакарпальну кістку представити як двохшарову циліндричну структуру, де нормальний перетин діафізу має вигляд двох концентричних фігур (коло та кільце), то вищевикладене можна застосувати до аналізу рентгенограми метакарпальної кістки кисті. Внутрішній шар кістки (медулярна порожнина) має лінійний коефіцієнт послаблення μ_1 менший, ніж лінійний коефіцієнт μ_2 зовнішнього (кортикального) шару кістки.

Зміну стану кісткової тканини можна оцінити як відношення $I_{\text{пр}}/I_0$, відповідно зміна оптичної щільності рентгенівського зображення буде:

$$\Delta S = S_{\text{пр}} - S_0 = \gamma (\ln I_{\text{пр}} - \ln I_0) \quad (10)$$

Визначимо за (9) та (10) ΔS при значенні x рівний 0, та при значенні x рівний r та запишемо їх різницю β :

$$\beta = 2\gamma \left\{ \mu_2 \left[\sqrt{R^2 - r^2} - (R - r) \right] - \mu_1 r \right\} = \\ = 2\gamma [\mu_2 (R - r) G - \mu_1 r] \quad (11)$$

З (11) одержуємо коефіцієнт (індекс G), який відображає ступінь втрати міцності кістки:

$$G = \sqrt{\frac{R+r}{R-r}} - 1 = \sqrt{\frac{D+d}{D-d}} - 1. \quad (12)$$

Зв'язок між індексом ступеню захворювання на остеопороз G (12) та відомим периферичним метакарпальним індексом Barnett-Nordin (1) наступний:

$$G = \sqrt{\frac{2}{IN}} - 1. \quad (13)$$

Визначимо з (13) діапазон діагностичних значень для індексу G. Для норми він становитиме від 0,53 до 0,73, а для різних стадій захворювання від 0,74 до 2,0. Тобто можна зробити висновок, що при нормальному стані кісткової тканини діапазони значень цих індексів майже співпадають, а при діагностуванні захворювання коефіцієнт G має значно більший діапазон значень, що дозволяє більш чітко диференціювати стадії захворювання, ніж за індексом IN. Крім того, при захворюванні на остеопороз зовнішній діаметр кістки фактично не змінюється, але збільшується внутрішній, тому оцінимо чутливість обох індексів відносно зміни внутрішнього діаметру. Введемо показник чутливості ζ як похідну від індексів $G'(r)$ та $IN'(r)$:

$$|\zeta_{GL}| = \frac{1}{2} \cdot \frac{\frac{1}{D-d} + \frac{D+d}{(D-d)^2}}{\sqrt{\frac{D+d}{D-d}}}, \quad (14)$$

$$|\zeta_{IN}| = \frac{1}{D}. \quad (15)$$

Графіки за (14) та (15) представлені на фіг.3. Як видно, індекс G завжди більш чутливо реагує на зміну внутрішнього діаметру ніж IN, а особливо в області, де діагностується захворювання. Тому при діагностуванні остеопорозу індекс G за чутливістю має перевагу над індексом IN.

Порівняльний аналіз індексу G з прототипом вказує, що він має суттєво більший діагностичний діапазон значень, особливо в діапазоні значень, що діагностують хворобу (діагностичний діапазон значень G для визначення ступеню враження остеопорозом - від 0,74 до 2,0, а для IN - від 0,45 до 0,2).

Приклад 1: пацієнт К., 16 років, за вимірами на рентгенограмі $D=8,5\text{мм}$, $d=3,5\text{мм}$, за індексом G діагностується норма.

$$G = \sqrt{\frac{8,5 + 3,5}{8,5 - 3,5}} - 1 = 0,55$$

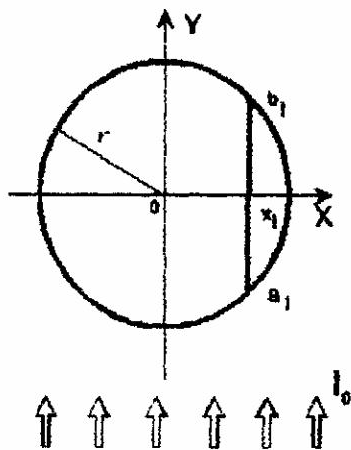
Приклад 2: пацієнт Г., 11 років, за вимірами на рентгенограмі $D=7,0\text{мм}$, $d=4,0\text{мм}$, за індексом G діагностується чітко виражений остеопороз (нижня межа цієї стадії).

$$G = \sqrt{\frac{7,0 + 4,0}{7,0 - 4,0}} - 1 = 0,91$$

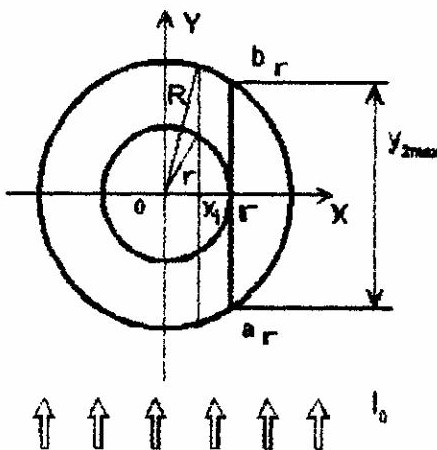
Приклад 3: пацієнт О., 14 років, за вимірами на рентгенограмі $D=9,5\text{мм}$, $d=6,0\text{мм}$, за індексом G діагностується чітко виражений остеопороз (верхня межа цієї стадії).

$$G = \sqrt{\frac{9,5 + 6,0}{9,5 - 6,0}} - 1 = 1,10$$

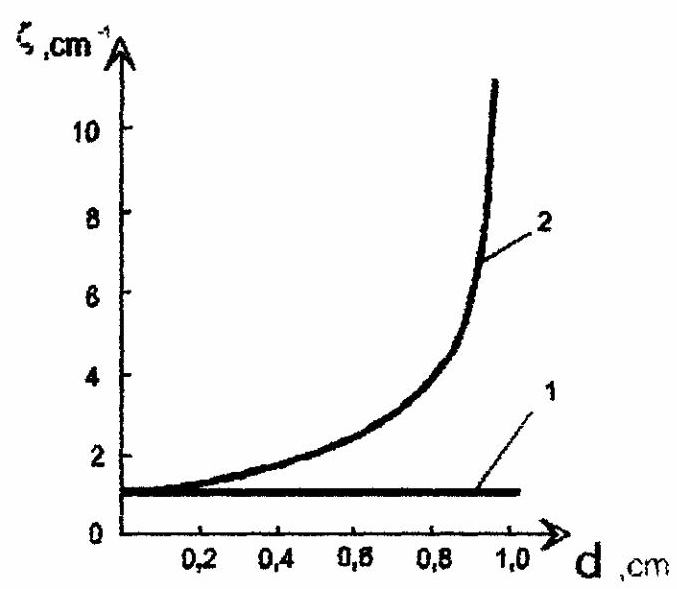
З прикладів видно, що індекс G дозволяє чітко диференціювати як окремі стадії, так і динаміку розвитку захворювання в межах однієї стадії.



Фіг.1



Фіг.2



Фиг.3