

УДК 616.053.2:611.018.4:262.5.05

Д. А. Бази́ка¹, К. М. Бру́слова¹✉, Л. О. Ля́шенко¹, С. М. Бакалі́нська³, Т. П. Гаври́ленко³,
З. М. Роді́на³, Т. І. Пушка́рєва¹, Н. М. Цвєткова¹, В. Г. Кондра́шова¹, А. Л. Зайцева¹,
Л. О. Гонча́р¹, В. Д. Письме́нний², І. В. Трихлі́б¹, В. Г. Боярський¹, О. Я. Плєскач¹,
О. М. Іванова¹, С. Г. Горбачов¹, Т. О. Черниш¹

¹Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології Національної академії медичних наук України», вул. Юрія Ілленка, 53, м. Київ, 04050, Україна

²Національний медичний університет ім. О. О. Богомольця, б-р Тараса Шевченка, 13, м. Київ, 01024, Україна

³Консультативно-діагностичний центр дитячий Дарницького району м. Києва, вул. Тростянецька, 8Д, м. Київ, 02091, Україна

СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ У ДІТЕЙ, ЖИТЕЛІВ РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ

Мета: оцінити структурні особливості, метаболічні біохімічні зміни в кістковій тканині та їх регуляцію у дітей, жителів радіоактивно забруднених територій (РЗТ).

Матеріали і методи. Обстежено 148 дітей віком від 7 до 18 років. Щільність кісткової тканини (ЩКТ) надано в трьох градаціях за середнім квадратичним відхиленням: I – нормативна (n = 75), II – знижена (n = 45) і III – дуже низька (n = 28). У родоводі дітей враховували наявність жовчнокам'яної і сечокам'яної хвороб, онкологічні та ендокринні хвороби, а також переломи кісток. У дітей оцінювали переломи кісток в анамнезі, аномалії щелепи. Вивчали біохімічні параметри крові: рівні загального білка, лужної фосфатази (ЛФ), сироваткового заліза (СЗ), креатиніну, кальцію, вітаміну D, вміст амінокислот в сечі, рівні паратгормону, кальцитоніну, тиреотропного гормону гіпофізу (ТТГ), вільного тироксину (FT₄), кортизолу в сироватці крові. Розраховували дози опромінення учасників дослідження.

Результати. Діагностика змін в органічній компоненті кісток базувалась на зниженому рівні креатиніну в сироватці крові, гліцину і лізину та підвищеному вмісті оксипроліну в сечі. Встановлено прямий зв'язок між рівнем оксипроліну в сечі та ТТГ в сироватці крові ($r = 0,42$; $p < 0,05$). Зміни в мінеральній компоненті кісток супроводжувались дефіцитом кальцію, підвищеною концентрацією ЛФ в сироватці крові та зниженою ЩКТ. Встановлено прямий зв'язок між рівнями кальцію та ЛФ в сироватці крові ($r = 0,33$) та зворотний зв'язок ЛФ з ЩКТ ($r = -0,60$) ($p < 0,05$). Встановлено зворотний зв'язок між вітаміном D та активністю ЛФ в сироватці крові ($r = -0,34$); між вітаміном D і СЗ в сироватці крові ($r = -0,35$) ($p < 0,05$). Встановлено частоту та структуру змін показників у дітей залежно від градацій ЩКТ. Ранжировані біохімічні параметри, що віддзеркалюють органічну, мінеральну компоненти кісток, рівень заліза та гормональну регуляцію процесів остеоутворення. Індивідуалізовані дози опромінення дітей (середня доза, яку може отримати група дітей відповідного віку, що проживають в цій місцевості) становили $(0,66 \pm 0,04)$ мЗв і вони не корелювали з іншими показниками.

Висновки. Дослідження метаболізму функціонування кісткових структур та їх регуляції у дітей сприяє своєчасній корекції виявлених змін.

Ключові слова: діти; органічна і мінеральна складові кісток; сироваткове залізо; тиреїдна система; кортизол; дози опромінення.

Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2024. Вип. 29. С. 259–270. doi: 10.33145/2304-8336-2024-29-259-270

D. A. Bazyka¹, K. M. Bruslova¹✉, L. O. Lyashenko¹, S. M. Bakalinska³, T. P. Havrylenko³, Z. M. Rodina³, T. I. Pushkariova¹, N. M. Tsvetkova¹, V. G. Kondrashova¹, A.L. Zaytseva¹, L. O. Gonchar¹, V. D. Pysmennyi², I. V. Trykhlіb¹, V. G. Boyarskyi¹, J. Y. Pleskach¹, O. M. Ivanova¹, S. G. Gorbachov¹, T. O. Chernysh¹

¹State Institution «National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», 53 Yurіia Illienka Str., Kyiv, 04050, Ukraine

²O. O. Bogomolets Memorial National Medical University, 13 Taras Shevchenko Blvd, Kyiv, 01024, Ukraine

³Consultative and Diagnostic Pediatric Center of Kyiv City Darnytsky district, 8D Trostianetska Str., Kyiv, 02091, Ukraine

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL BONE FEATURES IN CHILDREN RESIDING IN THE RADIOLOGICALLY CONTAMINATED TERRITORIES OF UKRAINE

Objective. Evaluation of structural features and metabolic/biochemical abnormalities of the bone tissue and relevant regulation patterns in children, residing in the radiologically contaminated territories (RCT).

Materials and methods. Children (n = 148) aged 7 to 18 years old were involved in the study. Bone mineral density (BMD) is given in 3 grades according to the mean square deviation values, namely Grade I – standard (n = 75), Grade II – reduced (n = 45) and Grade III – very low one (n = 28). Cholelithiasis, urolithiasis, cancer and endocrine diseases, as well as bone fractures in the family members of children were taken into account. Bone fractures in the history and jaw anomalies were evaluated in study participants. A spectrum of blood biochemical parameters, namely the serum content of total protein, alkaline phosphatase (APh), serum iron (SI), creatinine, calcium, vitamin D, parathyroid hormone, calcitonin, pituitary thyroid stimulating hormone (TSH), free thyroxine (FT4), and cortisol both with urine content of amino acids were assayed. Radiation doses in study participants were calculated.

Results. Abnormalities of the bone organic component were diagnosed according to the reduced serum level of creatinine, decreased urine levels of glycine and lysine, and increased urine content of oxyproline. A direct relationship was established between the urine level of oxyproline and serum TSH content ($r = 0.42$; $p < 0.05$). Abnormalities in the bone mineral component were accompanied by calcium deficiency, increased serum content of APh and decreased BMD. A direct relationship was established between the serum levels of calcium and APh ($r = 0.33$) and an inverse one between the APh serum content and BMD ($r = -0.60$) ($p < 0.05$). An inverse relationships were established between the serum vitamin D content and APh activity ($r = -0.34$), between the serum levels of vitamin D and SI ($r = -0.35$) ($p < 0.05$). Incidence and patterns of the abnormal parameters depending on BMD grades were established. Biochemical parameters reflecting the state of bone organic and mineral components both with the level of serum iron and hormonal regulation of bone formation were ranked. Individual radiation doses of children were (0.66 ± 0.04) mSv being not correlated with any other studied parameters.

Conclusions. Evaluation of the structural and functional components of bone tissue sheds light on the mechanisms of bone formation processes, metabolism of biochemical cascade, and regulatory pathways aiming the timely correction of abnormalities.

Key words: children, bone organic and mineral components, serum iron, thyroid system, cortisol, radiation doses.

Problems of Radiation Medicine and Radiobiology. 2024;29:259-270. doi: 10.33145/2304-8336-2024-29-259-270

ВСТУП

Гемопоез підтримується та регулюється стовбуровими гемопоетичними клітинами і стромальним мікрооточенням [1]. Метаболізм кісткової тканини визначає процеси росту, диференціювання та функцію її органічної і мінеральної складових, що в свою чергу

INTRODUCTION

Hematopoiesis is maintained and regulated by the hematopoietic stem cells and stromal microenvironment [1]. Metabolism of bone tissue determines the processes of growth, differentiation and function of its organic and mineral components,

✉ Kateryna M. Bruslova, e-mail: katerina142@ukr.net

відіграє важливу роль у функціонуванні системи кровотворення. Описані клітинні і молекулярні складові кісткової тканини. Кістка взаємодіє в координації з мікрооточенням кісткового мозку в процесах регулювання гемопоетичного гомеостазу [2]. Патологічні зміни в кістковій тканині можуть відбуватися як у білковій, так і мінеральній її компонентах. Дослідження патології в опорно-руховому апараті диктує необхідність ранжувати ступінь змін, що виникають в окремих структурних компартментах кісткової тканини, зокрема, за оцінкою комплексу метаболічних показників.

В останні роки з'явився напрямок «ферокринологія», що висвітлює вплив заліза на функціонування жирової та м'язової тканин. Дефіцит заліза знижує зв'язування гормонів щитоподібної залози з їхніми ядерними рецепторами та в подальшому порушує утилізацію норадреналіну тканинами і розподіл кортизолу, що робить реакцію організму на стрес більш вираженою [4].

Функція щитоподібної залози корелює з мікроархітектонікою кістки та структурою кісткового колагену [5]. Гіпофункція її негативно впливає на метаболізм кісткової тканини та її мінеральну щільність [6]. Вказано на вплив дефіциту заліза на функцію щитоподібної залози, зниження рівня тиреоїдних гормонів у хворих з дефіцитом заліза [7]. Водночас, описано патологічні зміни у стані тиреоїдної системи у людей з надлишком заліза в крові [8].

Суттєве значення відводиться спадковій схильності щодо патології опорно-рухового апарату за наявності ендокринної патології у родині. Описано аномалії розвитку зубів, порушення прикусу, що стосується в першу чергу дітей та підлітків [9].

Оцінка стану структури кісткового апарату базується на клінічних ознаках, які формують патологічну картину, морфофункціональних порушеннях остеону, метаболічних і регуляторних параметрах, що в ієрархічному порядку вказує на рівень організації, починаючи від організмowego, органно-тканинного до патохімічного.

Тому визначення структури кісткової тканини дає змогу виявляти патологію і своєчасно проводити корекцію.

МЕТА

Оцінити структурні особливості, метаболічні біохімічні зміни в кістковій тканині та їх регуляцію у дітей, жителів радіоактивно забруднених територій (РЗТ).

which in turn plays an essential role in the hematopoietic system function. Cellular and molecular components of the bone tissue are described. Bone interacts in coordination with the bone marrow microenvironment in regulation of hematopoietic homeostasis [2]. Disorders of the bone tissue can occur both in its protein and mineral components. Study of musculoskeletal system impairments requires to rank a degree of abnormalities occurring in the individual structural compartments of bone tissue through the assessment of a set of metabolic parameters in particular.

In recent years, the field of «ferrocrinology» has emerged, which highlights the role of iron in the fat and muscle tissue functioning. Iron deficiency leads to the reduced binding of thyroid hormones to their nuclear receptors, subsequent disruption of tissue norepinephrine utilization and abnormal distribution of cortisol, which makes the body's response to stress more pronounced [4].

Thyroid function correlates with the bone microarchitectonics and bone collagen structure [5]. Its hypofunction negatively affects bone tissue metabolism and BMD [6]. The effect of iron deficiency on thyroid function, and decreased level of thyroid hormones in iron deficiency were stated [7]. At the same time, some abnormalities in thyroid system under the iron excess were described in human [8].

Significant role is attributed to the hereditary predisposition to abnormalities of musculoskeletal system given the endocrine disorders in family members. Anomalies of tooth formation and malocclusion, which primarily concern the children and adolescents were described [9].

Assessment of structure of bone apparatus is based on the clinical signs that form a pathological pattern, morphological and functional osteon disorders both with metabolic and regulatory parameters, which hierarchically point to the level of organization, starting from organismic through organ/tissue to the pathochemical one.

Therefore, assaying the structure of bone tissue makes it possible to detect abnormalities and carry out respective corrections in a timely manner.

OBJECTIVE

Evaluation of structural features and metabolic/biochemical abnormalities of the bone tissue and relevant regulation patterns in children, residing in the radiologically contaminated territories (RCT).

МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИ

Обстежено 148 дітей, жителів РЗТ Київської та Житомирської областей України. Розподіл пацієнтів за віком такий: 7–10 років (препубертатний період) – 18,2 %, 10–14 років (пубертатний період) – 48,7 %, старше 14 років (постпубертатний період) – 33,1 % (табл. 1). Хлопчиків та дівчаток було порівну. Дизайн дослідження погоджено з Комітетом медичної етики ННЦРМГО, (протокол від 12.04.24 № 6).

Щільність кісткової тканини (ЩКТ) надано за середнім квадратичним відхиленням у трьох градаціях: I – нормативна (n = 75), II – знижена (n = 45) і III – дуже низька (n = 28). Величини ЩКТ становили відповідно (0,75 ± 0,11) ум. од., (-0,64 ± 0,06) ум. од.; (-1,82 ± 0,07) ум. од.

Щодо патології у родоводі дітей, то враховували наявність жовчнокам'яної (ЖКХ) і сечокам'яної (СКХ) хвороб, онкологічні та ендокринні хвороби, а також переломи кісток у 6 найближчих родичів (батьки дитини, дідусі та бабусі по лінії батька і матері). Всього отримано інформацію про 888 дорослих. У дітей враховували частоту переломів кісток в анамнезі, аномалії щелепи, наявність ожиріння.

Показники гемограми досліджували на автоматичному гемоаналізаторі MicroCC-18 (США) та підраховували в світловому мікроскопі (збільшення ×1000) після забарвлення препаратів за Папенгеймом. Досліджували біохімічні параметри крові: загальний білок, лужну фосфатазу (ЛФ), сироваткове залізо (СЗ), креатинін, кальцій, вітамін D на біохімічному аналізаторі Humostar-600 (Німеччина). Вміст амінокислот в сечі визначали на амінокислотному аналізаторі типу Т-339 (Чехія). Вивчали ЩКТ за показником Z УЗД денситометра Sunlight Mini Omni P (Israel). Рівні паратгормону (ПТГ), кальцитоніну (КТ), тиреотропного гормону гіпофіза (ТТГ), вільного тироксину (FT₄), кортизо-

MATERIALS AND METHODS

Children (n = 148) living in the RCT of Kyiv and Zhytomyr oblasts of Ukraine were involved in the study. Distribution was the following: 7–10 years old (prepubertal period) (18.2 %), 10–14 years old (pubertal period) (48.7 %), and older than 14 years (postpubertal period) (33.1 %) (Table 1). There were equal number of boys and girls. Study design was approved by the Medical Ethics Committee of the NRCRMHO (protocol #6 dated April 12, 2024).

Bone mineral density (BMD) is presented in 3 grades according to the mean square deviation i.e. Grade I – standard (n = 75), Grade II – reduced (n = 45), and Grade III – very low (n = 28) BMD. The BMD values were respectively (0.75 ± 0.11) RU, (-0.64 ± 0.06) RU, and (-1.82 ± 0.07) RU.

Cholelithiasis (CL), urolithiasis (UL), cancer, endocrine disorders, as well as bone fractures in the 6 close relatives (the child's parents, paternal and maternal grandparents) were taken into account. Data were collected for the 888 adult persons. Incidence of bone fractures in the history, jaw anomalies, and obesity were taken into account in children.

Hemograms were obtained on the MisroCC-18 automatic hemoanalyzer (USA) and counted under a light microscope (×1000) upon the staining of preparations by Pappenheim. Blood biochemistry featuring the total protein, alkaline phosphatase (APh), serum iron (SI), creatinine, calcium, and vitamin D content was assayed on a Humostar-600 biochemical analyzer (Germany). The amino acid content in urine was measured on an amino acid analyzer type T-339 (Czech Republic). The BMD was determined using the Z-index on an ultrasound densitometer Sunlight Mini Omni P (Israel). The radioimmunoassay (RIA-Kits) of the serum content of parathyroid hormone (PTH), calcitonin (CT), pituitary thyroid stimulating hormone (TSH), free

Таблиця 1

Розподіл дітей за віковими групами та ЩКТ (в градаціях)

Table 1

Allocation of study subjects by the age groups and BMD (in grades)

Вікові групи, роки Age groups, years	ЩКТ (градації) / BMD (grades)			Всього / Total	
	I	II	III	абс. ч. / n	%
7–10	7	7	13	27	18,2
10–14	36	24	12	72	48,7
Старше 14 / Over 14	32	14	3	49	33,1
Всього / All, n = 148	75	45	28	148	100,0
Відсоток / Percentage	50,7	30,4	18,9	–	–

лу в сироватці крові досліджували радіоімунним методом (RIA-Kits). Дози опромінення учасників дослідження розраховували за методикою, описаною О.М. Івановою зі співавторами [10].

Опрацювання отриманих матеріалів проводили за методами математичної статистики (коефіцієнт кореляції Ст'юдента, Спірмена, Манна-Уїтні (U-test), χ^2 критерій Пірсона (<https://www.socscistatistics.com/tests/>)).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Обстежено 148 дітей в період 2021–2023 років. Найменше було дітей до 10 років – 18,2 %, діти інших груп за чисельністю не розрізнялись. Тобто, превалювали діти старше 10 років. Не встановлено різниці в частоті патології у родоводі залежно від ЩКТ у дітей. Переломи кісток в анамнезі у дітей були частіше при III градації ЩКТ, ніж при I (17,9 % проти 8,0 %). Встановлено зворотний кореляційний зв'язок між кількістю переломів у дітей та градацією ЩКТ ($r = -0,35$; $p < 0,05$) та прямий кореляційний зв'язок між кількістю переломів у дітей та їхніх родичів ($r = 0,32$; $p < 0,05$). Аномалії розвитку щелеп у дітей корелювали з частотою ЖКХ у їхніх родичів ($r = 0,36$; $p < 0,05$). Частота ЖКХ та СКХ у родоводі дітей знаходилась в межах від 6 % до 8,0 % і не залежала від градації ЩКТ. Встановлено кореляційний зв'язок між рівнями заліза у крові дітей і наявністю ЖКХ у родичів ($r = 0,57$) та ендокринної патології ($r = 0,28$), ($p < 0,05$).

Частота вроджених аномалій розвитку щелеп у дітей не розрізнялась залежно від ЩКТ і становила близько 29 %. Кількість дітей з надмірною масою тіла була в межах від 3 % до 5 % і не мала зв'язку зі ЩКТ.

У пацієнтів найбільш частими були скарги на фізичну втому, підщелепні лімфаденіти. У групі не було дітей з анеміями. У 9,3 % в гемограмах реєструвались лейкомоїдні реакції лімфоцитарного типу, у 22,1 % – моноцитарного типу, котрі спостерігались протягом 6–12 міс. Причиною цих змін були хронічні вогнища інфекції в організмі дитини, токсоплазменна інфекція, перенесені гострі респіраторні вірусні захворювання.

Біохімічні показники сироватки крові, які характеризують метаболічні процеси в кістковій тканині, залежали від градацій ЩКТ у дітей (табл. 2). У дітей з III градацією ЩКТ найбільш часті зміни спостерігались у білковій компоненті кісток відповідно до II градації. Це стосується креа-

thyroxine (FT₄), and cortisol was applied. Radiation doses were calculated according to the method [10] (https://radiationproblems.org.ua/23_2018/NRCR_M_2018_Paper_12.pdf).

The study data processing was carried out using the mathematical statistics methods i.e. the Student's, Spearman's, and Mann-Whitney's (U-test) correlation coefficients were calculated and the Pearson's χ^2 test was applied. (<https://www.socscistatistics.com/tests/>).

RESULTS AND DISCUSSION

The study participants ($n = 148$) were examined for the 2021–2023 period. The least number of children were under 10 years old (18.2 %), while there was no difference in the number of children of the other age groups. That is, children older than 10 years prevailed in the study sample. There was no difference in the incidence of diseases in the family history depending on BMD values. Bone fractures in the history in children were more common in BMD Grade III group than in the Grade I (17.9 % vs. 8.0 %). An inverse correlation was established between the number of fractures in children and BMD ($r = -0.35$; $p < 0.05$), at that there was a direct correlation between the number of fractures in children and their relatives ($r = 0.32$; $p < 0.05$). Anomalies of the jaw development correlated with the incidence of CL in their relatives ($r = 0.36$; $p < 0.05$). Incidence of CL and UL in the family history ranged from 6 % to 8.0 % not depending on BMD grade. There was a correlation established between the SI levels and CL ($r = 0.57$) and endocrine diseases ($r = 0.28$) in their relatives ($p < 0.05$).

There was no difference in the incidence of congenital malformations of jaw (about 29 %) depending on BMG grade. The number of children with excess of body weight was from 3 % to 5 % with no any correlation with BMD.

Complaints on fatigue and manifestations of submandibular lymphadenitis were most frequent in study participants. There were no cases of anemia. Leukemic reactions of lymphocytic type were registered in the 9.3 % of hemograms with 22.1 % of monocytic type among them, been surveyed for 6 months to 12 months. Chronic local infections, toxoplasmosis, and acute respiratory viral diseases were the reasons there.

There was a dependence of serum biochemistry indicators, which characterize the metabolic processes in bone tissue, on the BMD grade (Table 2). In BMD Grade III the anomalies of bone protein component were most frequent vs. BMD Grade II. This applies to creatinine, the precursor of which creatine

Таблиця 2

Біохімічні показники крові та амінокислот в сечі у дітей залежно від ЩКТ (M ± m)

Table 2

Serum biochemistry and urine amino acid content depending on BMD (M ± m)

Показники / Parameters	ЩКТ (градації) / BMD (grades)		
	I	II	III
Загальний білок, г/л // Total protein, g/l	73,6 ± 0,5	71,30 ± 1,17	71,81 ± 2,30
Креатинін, мкмоль/л // Creatinine, μmol/l	68,9 ± 1,4*	63,4 ± 1,2	64,7 ± 1,7
Гліцин, мкмоль/л // Glycine, μmol/l	20,4 ± 2,2	19,2 ± 1,1**	16,0 ± 0,7
Лізин, мкмоль/л // Lysine, μmol/l	2,35 ± 0,23	2,21 ± 0,12**	1,82 ± 0,11
Оксипролін, мкмоль/л // Oxypoline, μmol/l	11,9 ± 1,4	13,4 ± 1,1**	17,3 ± 1,2
ЛФ, од/л // APh, RU/l	352,6 ± 27,0	415,4 ± 28,7**	552,5 ± 37,6
Кальцій, ммоль/л // Calcium, mmol/l	2,31 ± 0,07	2,23 ± 0,03**	2,08 ± 0,04
СЗ, мкмоль/л // SI, μmol/l	17,37 ± 1,00	19,82 ± 0,01**	12,89 ± 0,64
Холестерин, ммоль/л // Cholesterol, mmol/l	4,08 ± 0,07	4,27 ± 0,06	4,16 ± 0,05

Примітки. *Різниця між показником при I і II градації ЩКТ (p < 0,05); **різниця між показником при II і III градації ЩКТ (p < 0,05)
Notes. *BMD Grade I vs. BMD Grade II difference (p < 0.05); **BMD Grade II vs. BMD Grade III difference (p < 0.05)

тиніну, попередник якого креатин містить гліцин, що складає 33 % структури кісткового колагену, рівнів вільних амінокислот в сечі, зокрема дефіциту гліцину та лізину, підвищеного вмісту оксипроліну в сечі та ЛФ в сироватці крові. Водночас, знижувався вміст кальцію та заліза в сироватці крові, тобто розвивались зміни в органічній і мінеральній компонентах кісток. Встановлено прямий кореляційний зв'язок між рівнем кальцію та ЛФ (r = 0,33) та зворотний зв'язок – між ЛФ і ЩКТ (r = -0,60) (p < 0,05), що є цілком закономірним.

Рівень вітаміну D в сироватці крові у дітей знаходився в межах від 9,41 нг/мл до 48,80 нг/мл (середній (22,48 ± 2,31) нг/мл) і не мав зв'язку зі ЩКТ. Водночас, встановлено зворотний зв'язок між вітаміном D й активністю ЛФ у сироватці крові (r = -0,34; p < 0,05). За даними деяких авторів, ЛФ бере участь у регуляції активності вітаміну D [11, 12].

Відомо, що вітамін D регулює один з головних протеїнів обміну заліза гепсидин. Встановлено прямий кореляційний зв'язок між рівнем вітаміну D та СЗ (r = 0,35; p < 0,05). Підтвердженням може бути недостатність вітаміну D та наявність рівня СЗ на нижній межі референтної величини майже у всіх дітей, що пояснюється даними про підвищений ризик дефіциту заліза при низькій концентрації вітаміну D [13].

Щодо гормональної регуляції процесів остеоутворення, то рівень ТТГ в сироватці крові підвищувався у дітей з найнижчою ЩКТ (III градація) порівняно з нормативною та II градаціями (p < 0,05) (табл. 3). Концентрації інших гормонів суттєво не розрізнялись залежно від щільності кісток у дітей.

contains glycine and makes up the 33 % of bone collagen structure, to urine levels of the free amino acids with glycine and lysine deficiency in particular, and to increased urinary oxypoline and serum APh content. At the same time the serum content of calcium and iron was decreased indicating the development of anomalies in bone organic and mineral components. A direct correlation was established between the serum levels of calcium and APh (r = 0.33) and an inverse one between APh and BMD (r = -0.60) (p < 0.05) being completely natural.

Serum vitamin D level ranged from 9.41 ng/ml to 48.8 ng/ml with (22.48 ± 2.31) ng/ml mean value and with no association with BMD. At the same time, an inverse relationship was established between the serum vitamin D content and APh activity (r = -0.34; p < 0.05). According to some authors the APh is involved in regulation of the vitamin D activity [11, 12].

It is known that vitamin D regulates the production of hepcidin, an essential protein of the iron metabolism. A direct correlation was established between the levels of vitamin D and SI (r = 0.35; p < 0.05). Vitamin D deficiency and the SI level at the lower limit of reference range in almost all study participants is the fact that can support this, being explained by the increased risk of iron deficiency under low vitamin D concentration [13].

Regarding hormonal regulation of osteogenesis, the serum TSH level was increased in cases of the lowest BMD values (Grade III) vs. normative and Grade II ones (p < 0.05) (Table 3). There was no difference in the serum concentration of other hormones depending on the BMD.

Таблиця 3

Рівень гормонів у сироватці крові залежно від ЩКТ (M ± m)

Table 3

Serum hormone content depending on BMD (M ± m)

Показники / Parameters	ЩКТ (градації) / BMD (grades)		
	I	II	III
Паратгормон, пмоль/л // Parathyroid hormone, pmol/L	7,5 ± 1,1	6,9 ± 1,0	5,6 ± 1,2
Кальцитонін, пмоль/л // Calcitonine, pmol/L	10,3 ± 0,8	9,7 ± 1,3	9,2 ± 0,9
ТТГ, мОд/л // TSH RU/L	1,98 ± 0,16	1,77 ± 0,15*	2,73 ± 0,19
FT ₄ , пмоль/л // FT ₄ , pmol/L	14,08 ± 0,72	13,10 ± 0,98	16,18 ± 1,45
Кортизол, нмоль/л // Cortisol, nmol/L	370,58 ± 20,00	328,30 ± 29,10	298,60 ± 13,70

Примітка. *Різниця між показником при II і III градації ЩКТ (p < 0,05)

Note. *BMD Grade II vs. BMD Grade III difference (p < 0.05)

Встановлені прямі кореляційні зв'язки між паратиреоїдним гормоном (ПТГ) та ТТГ (r = 0,35), кальцитоніном (КТ) та ТТГ (r = 0,34), ПТГ та креатиніном (r = 0,41); зворотні зв'язки – між ПТГ та FT₄ (r = -0,46), КТ та FT₄ (r = -0,44) у сироватці крові (p < 0,05). Отримані взаємозв'язки відповідають функціональним особливостям гормональної регуляції тиреоїдної системи. Доведено пряму залежність рівнів ТТГ та кортизолу в сироватці крові (r = 0,35), (p < 0,05), що підтверджує функціональний взаємозв'язок між щитоподібною залозою і наднирковими залозами [4].

Відомо, що тиреоїдні гормони впливають на процеси колагенування [14]. Підтвердженням цього є встановлений прямий кореляційний зв'язок між рівнем ТТГ в сироватці крові та оксипроліном в сечі – маркером деградації колагену (r = 0,42; p < 0,05), що свідчить про вплив щитоподібною залози на обмін білків та є підставою для корекції амінокислотного складу колагену.

У дітей з III градацією ЩКТ, у яких спостерігались зміни в структурі колагену, гормональній регуляції та дефіцит С3, встановлено зворотний зв'язок між вітаміном D та ТТГ (r = -0,33); вітаміном D і С3 (r = -0,35) (p < 0,05), що узгоджується з даними інших авторів, які вказують на дефіцит вітаміну D і С3 при гіпофункції щитоподібною залози [15].

Встановлено зв'язок між С3 та кортизолом в сироватці крові (r = 0,57; p < 0,05) у дітей, незалежно від ЩКТ. Поясненням цього є роботи, які досліджують вплив підвищеного рівня кортизолу на метаболізм заліза і нейрокогнітивний розвиток дітей [16].

ЩКТ є інтегральним показником стану органічної та мінеральної складових кісткової тканини. Показано, що вона залежала від маси тіла (r = 0,40; p < 0,05), у дітей пубертатного і постпубертатного віку ЩКТ була вище порівняно з дітьми молод-

Direct correlations were established between the serum content of PTH and TSH (r = 0.35), CT and TSH (r = 0.34), PTH and creatinine (r = 0.41), while the inverse relationships were found between the PTH and FT₄ (r = -0.46), CT and FT₄ (r = -0.44) (p < 0.05). The revealed relationships correspond to the functional features of hormonal regulation of thyroid system. A direct relationship between the serum levels of TSH and cortisol (r = 0.35) (p < 0.05) has been proven, which confirms a functional link between the thyroid and adrenals [4].

It is known that thyroid hormones regulate the collagen formation [14]. It is proved by an established direct correlation between the serum level of TSH and urine content of oxyproline, a marker of collagen degradation (r = 0.42; p < 0.05), which indicates the role of thyroid in regulation of protein metabolism being essential for the correction of amino acid composition of collagen.

In children with BMD Grade III in whom the anomalies in collagen structure and hormonal regulation both with the SI deficiency were observed, an inverse relationship was established between the serum content of vitamin D and TSH (r = -0.33), and of vitamin D and SI (r = -0.35) (p < 0.05), which is consistent with data from other authors, stating the deficiency of vitamin D and SI in thyroid hypofunction [15].

A relationship was established between the serum content of cortisol and SI (r = 0.57) (p < 0.05) regardless of the BMD that is explained by studies' data of the impact of elevated cortisol levels on iron metabolism and neurocognitive development in children [16].

BMD is an integral indicator of the state of organic and mineral components of bone tissue. There was shown its dependence on body mass (r = 0.40) (p < 0.05) in children of pubertal and post-pubertal age. It was higher in them compared to the children of

Таблиця 4

Структура та частота змін показників у дітей залежно від ЩКТ (за формулою Байєса)

Table 4

Structure and incidence of abnormal indices depending on BMD (according to the Bayesian rule)

Показники / Parameters	Структура змін у дітей Structure of abnormalities			Частота змін у дітей Incidence of abnormalities		
	I	II	III	I	II	III
ЩКТ в градаціях / BMD grades						
Формула Байєса / Bayesian rule	Ранги/Ranks*			Відсоток/Percentage*		
< креатинін в сироватці крові / < serum creatinine	5	1	1	1,9	22,0	21,6
< гліцин та лізин в сечі / < urine glycine and lysine	5	1	1	1,9	22,0	21,6
> оксипролін в сечі / > urine oxyproline	5	1	1	1,9	22,0	21,6
> ЛФ в сироватці крові / > serum APH	2	2	4	10,6	12,6	5,1
< кальцій в сироватці крові / < serum calcium	3	5	4	4,5	1,0	6,2
> залізо в сироватці крові / > serum iron	1	3	4	14,8	10,0	5,1
> ТТГ в сироватці крові / > serum TSH	4	4	2	3,9	4,0	10,5
> кортизол в сироватці крові / > serum cortisol	–	4	3	0	4,0	8,2
Без змін в показниках	46	1	0	60,5	2,4	0
Всього дітей, n= 148	76	42	30	100,0	100,0	100,0

Примітка. *Від 1 до 5 ймовірність впливу показника на процес остеоутворення зменшується
Note. *Ranks from 1 to 5 means that probability of the parameter's effect on bone formation is decreasing

шої групи ($r = 0,44$; $p < 0,05$). Встановлено прямий кореляційний зв'язок між ЩКТ і креатиніном ($r = 0,32$) та зворотний зв'язок ЩКТ із СЗ ($r = -0,33$) ($p < 0,05$).

Слід відмітити, що у дітей з референтними значеннями ТТГ в сироватці крові, але вище 3,0 мОд/л, ЩКТ зворотно корелювала з рівнем гормону ($r = -0,36$; $p < 0,05$).

На підставі отриманих результатів було сформовано перелік структури і частоти патологічних змін показників у дітей залежно від ЩКТ (табл. 4).

При нормативній ЩКТ у 60,5 % дітей не було змін в органічній та мінеральній складових кісткової тканини і гормональній регуляції. 14,8 % пацієнтів мали підвищений рівень СЗ (до 35,0 мкмоль/л). У найменшій кількості дітей цієї групи діагностовано дефіцит кальцію та білка. При зниженій ЩКТ (II градація) в процес залучались органічна складова (66,0 %), мінеральна компонента (13,6 %), надлишок заліза (10,0 %). Найменша кількість дітей була зі змінами у гормональному статусі (8,0 %). При низькій ЩКТ (III градація) на структуру кісток у дітей в першу чергу впливав патологічний стан білкової компоненти (64,8 %), гормональна регуляція остеоутворення (18,7 %) за наявності дефіциту кальцію в організмі та надлишку заліза.

Середня індивідуалізована доза опромінення дітей становила $(0,66 \pm 0,04)$ мЗв. Встановлено прямий зв'язок між дозою опромінення дитини та її віком ($r = 0,34$; $p < 0,05$), що є цілком закономірним і свідчить про підвищення дози залежно від

younger group ($r = 0.44$) ($p < 0.05$). A correlation was established between the BMD and serum creatinine content ($r = 0.32$) along with an inverse relationship between the BMD and SI level ($r = -0.33$) ($p < 0.05$).

It should be noted that in serum TSH content within reference range but above 3.0 RU/L the BMD was inversely correlated with the hormone levels ($r = -0.36$) ($p < 0.05$).

According to the obtained results, a list of the structure and incidence of abnormal indices depending on BMD was formed (Table 4).

There was no abnormalities either in organic and mineral components of bone tissue or hormonal regulation under the normative BMD values in 60.5 % of study participants. There was an elevated SI content (up to 35.0 μmol) in 14.8 % of study subjects. Calcium and protein deficiency was diagnosed in the smallest number of children in this group. With reduced BMD (Grade II), the organic component (66.0 %), mineral component (13.6 %), and iron excess (10.0 %) were involved in the process. Disorders in hormonal status were in the smallest number of children (8.0 %). With low BMD (Grade III) the bone structure was primarily influenced by abnormalities in the protein component (64.8%) and hormonal regulation of bone formation (18.7 %) in the presence of calcium deficiency and iron excess.

The average individualized radiation dose of children was (0.66 ± 0.04) mSv. A direct relationship was established between the child's radiation dose and age ($r = 0.34$; $p < 0.05$), which is quite natural

терміну постійного проживання на радіоактивно забрудненій території. Інші визначені показники, які характеризують стан кісткових структур і гормональну регуляцію, не залежали від дози опромінення дитини.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено зміни показників у дітей залежно від ЩКТ:

> у 14,8 % дітей з I градацією ЩКТ був підвищений рівень СЗ (до 35,0 мкмоль), у 5,7 % – дефіцит білка, у 4,5 % – кальцію, у 60,5 % не було змін в органічній та мінеральній складових кісток і гормональній регуляції;

> у 66,0 % дітей з II градацією ЩКТ визначались зміни в органічній та у 13,6 % – в мінеральній складових, у 10,0 % діагностувався надлишок заліза, у 8,0 % – зміни в гормональному статусі;

> у 64,8 % дітей з III градацією ЩКТ відбувались порушення в органічному матриці, у 18,7 % – в гормональній регуляції остеоутворення; у 6,2 % був дефіцит кальцію, у 5,1 % – надлишок заліза в організмі.

2. При II та III градаціях ЩКТ були зміни в білковій компоненті кісток: знижувалися рівень креатиніну в сироватці крові, концентрація гліцину і лізину в сечі та підвищувався вміст оксипроліну в сечі. Встановлено прямий кореляційний зв'язок між рівнем оксипроліну в сечі та ТТГ в сироватці крові ($r = 0,42$; $p < 0,05$), що свідчить про вплив щитоподібної залози на обмін білків і структуру колагену, зокрема, кісткового.

3. Зміни в мінеральній компоненті кісткової тканини супроводжувались зниженням вмісту кальцію в сироватці крові та ЩКТ і підвищенням активності ЛФ. Встановлено прямий кореляційний зв'язок рівня кальцію та активності ЛФ в сироватці крові ($r = 0,33$) і зворотний зв'язок ЛФ з ЩКТ ($r = -0,60$), ($p < 0,05$).

4. Рівень вітаміну D в сироватці крові у дітей становив $(22,48 \pm 2,31)$ нг/мл, що свідчить про його недостатність, і не мав зв'язку зі ЩКТ. Встановлено зворотний зв'язок між рівнем вітаміну D та активністю ЛФ в сироватці крові ($r = -0,34$; $p < 0,05$); між рівнями вітаміну D і СЗ в сироватці крові ($r = -0,35$; $p < 0,05$).

5. Середня індивідуалізована доза опромінення дітей становила $(0,66 \pm 0,04)$ мЗв. Встановлено прямий кореляційний зв'язок між дозою опромінення дитини та її віком ($r = 0,34$; $p < 0,05$), що свідчить про підвищення дози залежно від терміну постійного проживання на РЗТ. Інші показники не залежали від дози опромінення дитини.

and indicates an increase in the dose depending on duration of permanent residence in RCT. No any other assayed indicators, which characterize the state of bone structures and hormonal regulation, depended on the radiation dose.

CONCLUSIONS

1. A range of abnormalities depending on the BMD were established, namely:

> 14.8 % of children with BMD Grade I had an increased level of SI (up to 35.0 μ mol), 5.7 % had protein deficiency, 4.5 % had calcium deficiency, and 60.5 % had no changes either in organic and mineral constituents of bones or in hormonal regulation;

> in children with BMD Grade II the abnormalities in organic and mineral component of bone (66.0 % and 13.6 % of cases respectively) were identified along with iron excess in 10.0 % and disorders of hormonal status in 8.0 %;

> there were disorders in the bone organic matrix in 64.8 %, of the hormonal regulation of bone formation in 18.7 %, calcium deficiency in 6.2 %, and iron excess in 5.1 % of children with BMD Grade III.

2. In BMD Grade II and Grade III there were abnormalities in the bone protein component, decreased levels of serum creatinine and of urine glycine and lysine both with elevated oxyproline content in urine. A direct correlation was established between the level of oxyproline in urine and serum TSH ($r = 0.42$; $p < 0.05$), indicating the effect of thyroid hormones on protein metabolism and collagen structure, in particular of the bone one.

3. Abnormal mineral component of the bone tissue was accompanied by a decrease in serum calcium content and BMD both with increased APh activity. A direct correlation between the serum calcium level and APh activity ($r = 0.33$) and an inverse relationship between the APh activity and BMD ($r = -0.60$) ($p < 0.05$) were established.

4. Serum content of vitamin D was (22.48 ± 2.31) ng/ml, indicating its deficiency with no link to the BMD. An inverse relationship was established between the serum level of vitamin D and APh activity ($r = -0.34$; $p < 0.05$) and also between the serum levels of vitamin D and SI ($r = -0.35$; $p < 0.05$).

5. The average individualized radiation dose was (0.66 ± 0.04) mSv. A direct correlation was established between the radiation dose and age ($r = 0.34$; $p < 0.05$), indicating to a dose increase depending on duration of the permanent residence in RCT. No any other indicators depended on the radiation dose.

Джерела фінансування

Наукова робота проведена у рамках НДР шифр 616 «Вивчення механізмів впливу надлишку заліза в організмі на гормонально-метаболичні порушення стромально-гемопоетичного мікрооточення у дітей з гострими лейкеміями та дітей- мешканців радіоактивно забруднених територій після аварії на ЧАЕС» (№ держреєстрації 0121U107585, термін виконання: 2021–2023 рр.).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Wu Q., Zhang J., Lucas D. Anatomy of hematopoiesis and local microenvironments in the bone marrow. Where to? *Front Immunol.* 2021. Vol. 12. P. e768439. doi: 10.3389/fimmu.2021.768439.
2. The roles of bone remodeling in normal hematopoiesis and age-related hematological malignancies / H. Zhang, J. L. Liesveld, L. M. Calvi et al. *Bone Res.* 2023. Vol. 11, no. 1. P. 15. doi: 10.1038/s41413-023-00249-w.
3. Вплив заліза на процеси метаболізму в кістковій тканині та функцію щитоподібної залози у дітей, які живуть на радіоактивно забруднених територіях після аварії на ЧАЕС / Д. А. Базика, К. М. Бруслова, Л. О. Ляшенко та ін. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології.* 2022. Вип. 27. С. 264-275. doi: 10.33145/2304-8336-2022-27-264-275.
4. Szklarz M., Gontarz-Nowak K., Matuszewski W., Bandurska-Stankiewicz E. «Ferrocronology» – iron is an important factor involved in gluco- and lipocrinology. *Nutrients.* 2022. Vol. 14, no. 21. P. 4693. doi: 10.3390/nu14214693.
5. Do bone turnover markers reflect changes in bone microarchitecture during treatment of patients with thyroid dysfunction? / C. J. Vinther, L. H. Poulsen, P. Nicolaisen et al. *J. Endocrinol Invest.* 2023. Vol. 46, no. 2. P. 345-358. doi: 10.1007/s40618-022-01907-2.
6. Ursomanno B. L., Cohen R. E., Levine M. J., Yerke L. M. The effect of hypothyroidism on bone loss at dental implants. *J. Oral Implantol.* 2021. Vol. 47, no. 2. P. 131-134. doi: 10.1563/aaid-joi-D-19-00350.
7. Relationship between iron deficiency and thyroid function: a systematic review and metaanalysis / V. Garofalo, R. A. Condorelli, R. Cannarella et al. *Nutrients.* 2023. Vol. 15, no. 22. P. 4790. doi: 10.3390/nu15224790.
8. Hussein.S. Z. Evaluation of thyroid hormones and ferritin level in patients with β -thalassemia. *Med. Pharm. Rep.* 2022. Vol. 95, no. 2. P. 152-157. doi: 10.15386/mpr-2053.
9. Mandibular crowding: diagnosis and management – a scoping review / A. Patano, G. Malcangi, A. Inchingolo et al. *J. Pers. Med.* 2023. Vol. 13, no. 5. P. 774. doi: 10.3390/jpm13050774.
10. Іванова О. М., Ковган Л. М., Масюк С. В. Методика реконструкції індивідуалізованих доз опромінення осіб, що мешкають на радіоактивно забруднених територіях України. *Проблеми радіаційної медицини та радіобіології.* 2018. Вип. 23. С. 164-187. doi: 10.33145/2304-8336-2018-23-164-187.

Funding

Study was carried out within framework of the Research Project «Study of mechanisms of the influence of excess iron in the body on hormonal and metabolic disorders of stromal and hematopoietic microenvironment in children with acute leukemia and children-residents of radiologically contaminated territories after the ChNPP accident» (code 616, state registration #0121U107585, work schedules 2021–2023).

REFERENCES

1. Wu Q, Zhang J, Lucas D. Anatomy of hematopoiesis and local microenvironments in the bone marrow. Where to? *Front Immunol.* 2021;12:768439. doi: 10.3389/fimmu.2021.768439.
2. Zhang H, Liesveld JL, Calvi LM, Lipe BC, Xing L, Becker MW, et al. The roles of bone remodeling in normal hematopoiesis and age-related hematological malignancies. *Bone Res.* 2023;11(1):15. doi: 10.1038/s41413-023-00249-w.
3. Bazyka DA, Bruslova KM, Lyashenko LO, Pushkariova TI, Tsvetkova NM, Zaitseva AL, et al. Effect of iron on bone tissue metabolism and thyroid function in children living on radiologically contaminated territories since the ChNPP accident. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2022;27:264-275. doi: 10.33145/2304-8336-2022-27-264-275.
4. Szklarz M, Gontarz-Nowak K, Matuszewski W, Bandurska-Stankiewicz E. «Ferrocronology» iron is an important factor involved in gluco- and lipocrinology. *Nutrients.* 2022;14(21): 4693. doi: 10.3390/nu14214693.
5. Vinther CJ, Poulsen LH, Nicolaisen P, Obling ML, Brix TH, Hermann AP, et al. Do bone turnover markers reflect changes in bone microarchitecture during treatment of patients with thyroid dysfunction? *J Endocrinol Invest.* 2023;46(2):345-358. doi: 10.1007/s40618-022-01907-2.
6. Ursomanno BL, Cohen RE, Levine MJ, Yerke LM. The effect of hypothyroidism on bone loss at dental implants. *J Oral Implantol.* 2021;47(2):131-134. doi: 10.1563/aaid-joi-D-19-00350.
7. Garofalo V, Condorelli RA, Cannarella R, Aversa A, Calogero AE, Vignera S. Relationship between iron deficiency and thyroid function: a systematic review and meta-analysis. *Nutrients.* 2023;15(22): 4790. doi: 10.3390/nu15224790.
8. Hussein. SZ. Evaluation of thyroid hormones and ferritin level in patients with β -thalassemia. *Med Pharm Rep.* 2022;95(2):152-157. doi: 10.15386/mpr-2053.
9. Patano A, Malcangi G, Inchingolo AD, Garofoli G, Leonardi N, Az-zollini D, et al. Mandibular crowding: diagnosis and management – a scoping review. *J Pers Med.* 2023;13(5):774. doi: 10.3390/jpm13050774.
10. Ivanova OM, Kovgan LM, Masiuk SV. Methodology of reconstruction of individualized exposure doses for persons residing at radioactively contaminated territories of Ukraine. *Probl Radiac Med Radiobiol.* 2018;23:164-187. doi: 10.33145/2304-8336-2018-23-164-187.

11. New insights into vitamin D regulation: is there a role for alkaline phosphatase? / G. Bellastella, L. Scappaticcio, M. Longo et al. *J. Endocrinol. Invest.* 2021. Vol. 44, no. 9. P. 1891-1896. doi: 10.1007/s40618-021-01503-w.
12. Rajab H. A. The effect of vitamin D level on parathyroid hormone and alkaline phosphatase. *Diagnostics (Basel)*. 2022. Vol. 12, no. 11. P. 2828. doi: 10.3390/diagnostics12112828.
13. Vitamin D deficiency and its association with iron deficiency in African children / R. M. Mogire, J. M. Muriuki, A. Morovat et al. *Nutrients*. 2022. Vol. 14, no. 7. P. 1372. doi: 10.3390/nu14071372.
14. Shahid M. A., Ashraf M. A., Sharma S. Physiology, thyroid hormone. *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. PMID: 29763182. (last update: Jun 5, 2023).
15. Shimmi S. C., Eldosouky H. F., ossain Parash M. T. H., Wan Saudi W. S. Probability of concurrent deficiency of vitamin D and iron in hypothyroidism: a cross-sectional study. *Cureus*. 2023. Vol. 15, no. 4. P. e37152. doi: 10.7759/cureus.37152.
16. Reid B. M., Georgieff M. K. The interaction between psychological stress and iron status on early-life neurodevelopmental outcomes. *Nutrients*. 2023. Vol. 15, no. 17. P. 3798. doi: 10.3390/nu15173798.
11. Bellastella G, Scappaticcio L, Longo M, Carotenuto R, Carbone C, Caruso P, et al. New insights into vitamin D regulation: is there a role for alkaline phosphatase? *J Endocrinol Invest.* 2021;44(9): 1891-1896. doi: 10.1007/s40618-021-01503-w.
12. Rajab HA. The effect of vitamin D level on parathyroid hormone and alkaline phosphatase. *Diagnostics (Basel)*. 2022;12(11): 2828. doi: 10.3390/diagnostics12112828.
13. Mogire RM, Muriuki JM, Morovat A, Mentzer AJ, Webb EL, Kimita W, et al. Vitamin D deficiency and its association with iron deficiency in African children. *Nutrients*. 2022;14(7):1372. doi: 10.3390/nu14071372.
14. Shahid MA, Ashraf MA, Sharma S. Physiology, thyroid hormone. *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. PMID: 29763182. (last update: Jun 5, 2023).
15. Shimmi SC, Eldosouky HF, Hossain Parash MT, Wan Saudi WS. Probability of concurrent deficiency of vitamin D and iron in hypothyroidism: a cross-sectional study. *Cureus*. 2023;15(4):e37152. doi: 10.7759/cureus.37152.
16. Reid BM, Georgieff MK. The interaction between psychological stress and iron status on early-life neurodevelopmental outcomes. *Nutrients*. 2023; 15(17): 3798. doi: 10.3390/nu15173798.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Базика Дмитрій Анатолійович, доктор медичних наук, професор, академік Національної академії медичних наук, генеральний директор ННЦРМГО, м. Київ, Україна
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9982-5990>

Бруслова Катерина Михайлівна, доктор медичних наук, професор, завідувач відділення радіаційної гематології дитячого віку, Інститут клінічної радіології, ННЦРМГО, м. Київ, Україна
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4976-0396>

Ляшенко Людмила Олександрівна, кандидат біологічних наук, заступник генерального директора з науково-організаційної роботи та перспективи розвитку, ННЦРМГО, м. Київ, Україна

Бакалінська Світлана Миколаївна, директор Консультативно-діагностичного центру дитячого Дарницького району м. Києва, м. Київ, Україна

Гавриленко Тетяна Петрівна, заступник директора з медичних питань Консультативно-діагностичного центру дитячого Дарницького району м. Києва, м. Київ, Україна

Родіна Зоя Миколаївна, завідувача відділенням функціональної діагностики Консультативно-діагностичного центру дитячого Дарницького району м. Києва, лікар ультразвукової діагностики, м. Київ, Україна

Пушкарьова Тетяна Іванівна, кандидат медичних наук, молодший науковий співробітник, відділення радіаційної гематології дитячого віку, Інститут клінічної радіології, ННЦРМГО, м. Київ, Україна

Цветкова Наталія Михайлівна, кандидат медичних наук, старший науковий співробітник відділення радіаційної ге-

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Dimitry A. Bazyka, Doctor of Medical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Medical Sciences, NRCRMHO Director General, Kyiv, Ukraine
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9982-5990>

Katerina M. Bruslova, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head Pediatric Radiation Hematology Department, Institute of Clinical Radiology, NRCRMHO, Kyiv, Ukraine
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4976-0396>

Lyudmila O. Lyashenko, Candidate of Biological Sciences, Deputy Director General for Scientific and Organizational Work and Prospective Development of NRCRMHO, Kyiv, Ukraine

Svitlana M. Bakalinska, Director of the Children's Consulting and Diagnostic Centre of the Darnytsky District of Kyiv, Ukraine

Tetyana P. Gavrylenko, Deputy Director of the Children's Consulting and Diagnostic Centre of the Darnytsky District of Kyiv, Ukraine

Zoia M. Rodina, Head Functional Diagnostic Department of the Children's Consulting and Diagnostic Centre of the Darnytsky District of Kyiv, Ukraine

Tetiana I. Pushkareva, Candidate of Medical Sciences Junior Research Associate, Pediatric Radiation Hematology Department, Institute of Clinical Radiology, NRCRMHO, Kyiv, Ukraine

Natalia M. Tsvetkova, Candidate of Medical Sciences, Senior Research Associate, Pediatric Radiation Hema-

матології дитячого віку, Інститут клінічної радіології, ННЦРМГО, м. Київ, Україна

Кондрашова Валентина Григорівна, кандидат медичних наук, вчений секретар, Інститут клінічної радіології, ННЦРМГО, м. Київ, Україна

Зайцева Анастасія Леонідівна, заступник головного лікаря з лікувальної та організаційної роботи клініки ННЦРМГО, м. Київ, Україна

Гончар Лариса Олексіївна, завідувач відділення радіаційної гематології дитячого віку клініки ННЦРМГО, м. Київ, Україна

Письменний Віктор Дмитрович, кандидат медичних наук, доцент кафедри дитячої хірургії Національного медичного університету імені О. О. Богомольця, м. Київ, Україна

Трихліб Ірина Всеволодівна, молодший науковий співробітник, відділення радіаційної гематології дитячого віку Інститут клінічної радіології, ННЦРМГО, м. Київ, Україна

Боярський Володимир Георгійович, завідувач відділення діагностики клініки ННЦРМГО, м. Київ, Україна

Плескач Оксана Яківна, кандидат біологічних наук, лабораторія імуноцитології, відділ клінічної імунології, ННЦРМГО, м. Київ, Україна

Іванова Ольга Миколаївна, кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник лабораторії радіологічного захисту, Інститут радіаційної гігієни та епідеміології ННЦРМГО, м. Київ, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3652-0836>

Горбачов Сергій Григорович, молодший науковий співробітник лабораторії радіаційної гігієни та моніторингу, Інститут радіаційної гігієни та епідеміології ННЦРМГО, м. Київ, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8561-2804>

Черниш Тетяна Олександрівна, лікар стоматолог, клініка ННЦРМГО, м. Київ, Україна

tology Department, Clinical Radiology Institute, NRCRMHO, Kyiv, Ukraine

Valentina G. Kondrashova, Candidate of Medical Sciences, Scientific Secretary, Clinical Radiology Institute, NRCRMHO, Kyiv, Ukraine

Anastasiya L. Zaytseva, Deputy General Manager for Medical and Organizational Work, NRCRMHO Clinic, Kyiv, Ukraine

Larisa O. Gonchar, Head Pediatric Radiation Hematology Department, NRCRMHO Clinic, Kyiv, Ukraine

Victor D. Pismenniy, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of Pediatric Surgery, National Medical University behalf of the O. O. Bogomolets, Kyiv, Ukraine

Iryna V. Trychlib, Junior Research Associate, Pediatric Radiation Hematology Department, Clinical Radiology Institute, NRCRMHO, Kyiv, Ukraine.

Volodymyr G. Boyarskyi, Head Diagnostics Department, NRCRMHO Clinic, Kyiv, Ukraine

Oksana Y. Pleskach, Candidate of Biological Sciences, Laboratory of Immunocytology, Department of Clinical Immunology, NRCRM, Kyiv, Ukraine

Olha M. Ivanova, Candidate of Biological Sciences, Senior Research Associate, Radiological Protection Laboratory, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRMHO, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3652-0836>

Serhii H. Horbachov, Junior Research Associate, Radiation Hygiene and Monitoring Laboratory, Institute of Radiation Hygiene and Epidemiology, NRCRMHO, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8561-2804>

Tetiana O. Chernysh, Doctor Dentist, NRCRMHO Clinic, Kyiv, Ukraine

Стаття надійшла до редакції 10.04.2024

Received: 10.04.2024