

## in **TCHERNOBYL, 20 ans après**

[Youri I. BANDAZHEVSKY](#)

Minsk, 2005

Traduit du russe par Manuela Bux

Jean-Claude Gawsewitch, Editeur, 2006

Extrait p 257, 277

Nous remercions l'auteur et l'éditeur

pour leur aimable autorisation (mai 2008)

### Hypothèse

...

**Je me permets de proposer l'hypothèse selon laquelle les radionucléides perturbent les liens immunorégulateurs entre les cellules du système immunitaire et de tous les autres organes assurant la stimulation de l'activité de l'appareil génétique cellulaire. C'est particulièrement important lorsqu'un gène de la paire allèle ne fonctionne pas. Pour que l'un ou l'autre caractère soit correctement réalisé, il faut que le fonctionnement du gène allèle restant soit renforcé. Le système immunitaire stimule leur activité en produisant ce qu'on appelle les protéines régulatrices.**

**Le radiocésium, par son influence sur les cellules du système immunitaire, perturbe ce lien et permet ainsi la manifestation phénotypique de défauts génétiques cachés.**

...

## Mécanismes de la perturbation de l'activité cardiaque chez les habitants du territoire touché par la catastrophe de Tchernobyl

### Introduction:

Les maladies cardio-vasculaires sont les causes les plus importantes de mortalité et d'invalidité de la population de la République de Biélorussie.

On les rencontre tout particulièrement chez les habitants de l'oblast de Gomel, celui qui a le plus souffert de la catastrophe à la centrale électrique nucléaire de Tchernobyl. Ce qui attire l'attention, c'est la fréquence élevée des perturbations fonctionnelles de l'activité cardiaque chez les enfants [1,2].

Dans la pathogenèse des maladies cardiovasculaires, nous avons pu mettre en évidence le rôle d'un des radionucléides les plus répandus dans notre environnement: le Cs-137 (radiocésium). Il entre dans l'organisme par voie alimentaire et est incorporé dans des organes vitaux, y compris le myocarde.[6]

L'auteur, en collaboration avec l'institut médical de Gomel (qu'il dirigeait entre 1990 et 1999) a étudié en clinique et lors d'expériences les processus pathologiques qui apparaissent dans l'organisme à la suite de l'incorporation du radiocésium.

Les résultats de ces recherches ont été présentés dans une série de publications [2-8]. Elles montrent que lorsque le radionucléide pénètre dans l'organisme par l'alimentation, c'est le système cardio-vasculaire qui est soumis aux plus fortes perturbations.

Les mécanismes de l'action du radiocésium ne sont pas entièrement déterminés; cela

nous oblige à reprendre la discussion des données proposées auparavant.

Il faut savoir qu'à part le Cs-137, d'autres radionucléides de courte ou de longue vie ont eu, et continuent à avoir, une influence essentielle sur l'organisme des gens vivant sur les territoires touchés par la catastrophe de Tchernobyl. Par exemple, le plomb qui a été utilisé pour éteindre l'incendie du 4ème réacteur. On en a pulvérisé d'énormes quantités sur des dizaines de kilomètres autour de la centrale.

Il est dès lors extrêmement difficile d'isoler l'action pathogène du radiocésium uniquement, sans tenir compte des autres toxiques et radionucléides.

Dans cet article, nous allons analyser les résultats des recherches cliniques réalisées par les membres de l'Institut médical de Gomel, et publiés en 1995 dans le livre *Aspects clinico-expérimentaux de l'influence sur l'organisme des radionucléides incorporés*.

## Discussion

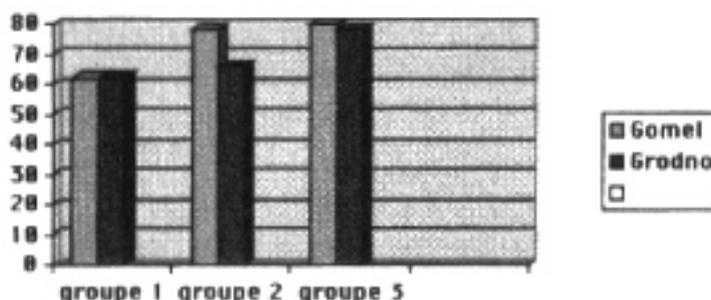
Les enfants de 3 à 7 ans vivant à Gomel ont constitué le groupe clinique de base. Le groupe de contrôle était composé d'enfants du même âge provenant de la ville de Grodno [2].

La teneur moyenne de Cs-137 dans l'organisme des enfants des deux groupes était similaire, respectivement  $30,32 \pm 0,66$  Bq/kg et  $29,74 \pm 0,67$  Bq/kg.

Dans chaque groupe, trois sous-groupes, chacun avec une concentration précise de radionucléide dans l'organisme 11,0-25,9 Bq/kg, 26,0-36,9 Bq/kg et 37,0-74 Bq/kg.

Lors d'une concentration de 11-25,9 Bq/kg, la fréquence des perturbations de l'électrocardiogramme dans les deux groupes était d'environ 60%, dont 40 % de perturbations de la conduction de l'influx électrique.

Quand le taux de radiocésium augmente, la fréquence des perturbations électrocardiographiques augmente également (schéma 1, 2). Dans le groupe de base (ville de Gomel), l'augmentation de la fréquence des perturbations de l'ECG est liée à la perturbation de la conduction intracardiaque (la différence entre le 1er et le 3ème sous-groupe était de 20 %).



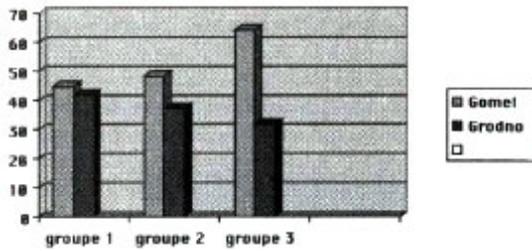
**Schéma 1**

Fréquence des modifications électrocardiographiques chez les enfants des villes de Gomel et de Grodno (%)

Groupe 1: accumulation de radiocésium dans l'organisme : 11-25,9 Bq/kg

Groupe 2 : accumulation de radiocésium dans l'organisme 26-36,9 Bq/kg

Groupe 3 : accumulation de radiocésium dans l'organisme : 37-74,0 Bq/kg



### Schéma 2

Fréquence des perturbations de la conduction intracardiaque chez les enfants des villes de Gomel et de Grodno (%)

Groupe 1 : accumulation de radiocésium dans l'organisme: 11-25,9 Bq/kg

Groupe 2 : accumulation de radiocésium dans l'organisme : 26-36,9 Bq/kg

Groupe 3 : accumulation de radiocésium dans l'organisme: 37-74,0 Bq/kg

Dans le groupe de contrôle (ville de Grodno), l'augmentation de la fréquence des perturbations de l'ECG est liée aux changements métaboliques, alors qu'un nombre relatif de perturbations de la conduction intracardiaque a même tendance à diminuer. Auprès des enfants de ce groupe, la fréquence la plus faible des perturbations de la conduction intracardiaque a été enregistrée lors d'une concentration en radiocésium de 36,9-74,0 Bq/kg dans 30 % des cas, alors que chez les enfants du groupe de base, à même concentration de ce radionucléide, la fréquence de ce type de perturbations était de plus de 60 %.

Ainsi donc, indépendamment de la hausse des perturbations de l'ECG parallèle à l'augmentation de la quantité de radiocésium dans l'organisme, on constate dans chacun de ces groupes une augmentation du nombre de processus pathologiques différents du point de vue de leur contenu qualitatif.

L'augmentation du nombre d'enfants atteints de perturbations de la conduction intracardiaque dans le groupe de base indique la présence de sérieux changements dans les processus de dépolarisation des membranes cytoplasmiques des cellules du système conducteur du coeur. Les causes doivent être cherchées dans la perturbation des mécanismes énergétiques et de la structure des membranes elles-mêmes.

On sait que l'ATP d'origine glycolytique est consommée essentiellement dans les pompes à cations lors de la formation du potentiel de repos ainsi que lors du développement du potentiel d'action dans les cellules du myocarde. Son déficit conditionne une diminution du potentiel d'action et est accompagné de perturbations du rythme cardiaque. L'ATP, qui se forme dans le cycle mitochondrial de Krebs, est aussi utilisé pour les besoins mentionnés plus haut. Les deux cycles énergétiques se complètent malgré leurs puissances incomparables.

Après avoir déjà entravé sa capacité à conduire l'influx électrique, on peut déséquilibrer l'état physiologique de la membrane cytoplasmique du cardiomyocyte en perturbant les deux cycles : celui de la glycolyse et celui de la respiration aérobie.

Les recherches que nous avons effectuées auparavant ont montré que l'incorporation du radiocésium dans l'organisme de l'homme et des mammifères mène à la perturbation du cycle énergétique mitochondrial. Il fait brusquement chuter l'activité de la créatine

phosphokinase en diminuant l'intensité de l'échange des protéines avec une prédominance des processus cataboliques sur les processus anaboliques structurels enregistrés dans les mitochondries témoignent également de la détérioration profonde du cycle de Krebs, la source essentielle de l'énergie cellulaire.

En analysant la capacité de différents facteurs qui se trouvaient dans la zone de l'accident d'influencer les processus énergétiques. On peut affirmer que le deuxième facteur participant à l'induction des perturbations de la conduction de l'influx cardiaque est le plomb.

Comme le souligne le professeur V. B. Nestérenko, pour éteindre l'incendie dans le réacteur de la centrale nucléaire de Tchernobyl, on a déversé entre 2 400 et 6 720 tonnes de plomb par hélicoptère, ce qui a entraîné une importante pollution de la biosphère.

L'herbe absorbe le plomb de la manière la plus intense. Les organes génératifs des céréales (le grain) l'absorbent également, mais à un niveau beaucoup moins important que les organes végétatifs des cultures fourragères.

Une triple augmentation de plomb dans le sol permet une augmentation de 15 à 75 % de sa teneur dans le grain des céréales, de 190 à 340 % dans la p? . Cela a été enregistré dans les régions de Gomel et de Vétkovski, de l'oblast de Gomel, où la quantité de ce métal dans les plantes fourragères dépassait de 1,5 à 3,2 fois la norme sanitaire.

L'augmentation de la teneur en plomb dans la ration alimentaire des animaux entraîne une augmentation de son accumulation dans le lait et dans des organes internes, comme les reins et le foie, et aussi dans les tissus musculaires et le sang.

De cette façon, le lait et la viande bovine sont pour l'homme des sources de plomb, comme de radiocésium, cela dit. Les recherches entreprises par N. A. Gresse et ses coauteurs ont démontré que le nombre le plus élevé d'enfants présentant une grande quantité de plomb dans le sang (plus de 100 mg/g) a justement été enregistré dans l'oblast de Gomel.

Le plomb est un poison polytrophe qui perturbe considérablement l'échange des éléments dans l'organisme.

Son action toxique est liée à de nombreuses réactions intracellulaires dépendantes du calcium, à l'apparition des radicaux d'ions libres, au blocage de l'activité de nombreuses enzymes.

On a enregistré les effets mutagènes du plomb sous forme de cassures d'un brin d'ADN, de la répression de la réparation de l'ADN, de la diminution de la stabilité de la synthèse de l'ADN.

Lors d'un empoisonnement au plomb, on remarque que celui-ci bloque les groupes sulfhydryles des enzymes de la synthèse de protoporphyrines (acide aminolévulinique déshydrase, décarboxylase d'uroporphyrinogènes, hème synthase). La formation d'enzymes comme la catalase, la peroxydase, le cytochrome, l'hème et naturellement l'hémoglobine, est perturbée.

On peut confirmer l'influence du plomb sur l'échange des hormones stéroïdes en se fondant sur le fait qu'il perturbe la synthèse des porphyrines composant le cytochrome P-450, qui lui-même participe à la synthèse des hormones stéroïdes sur la base des

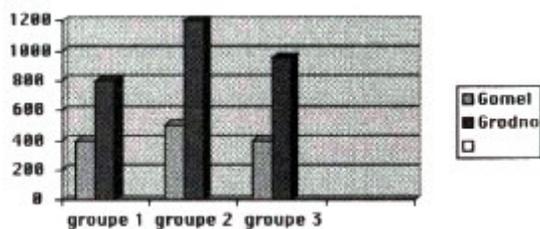
transformations du cholestérol.

L'influence du plomb sur le système érythrocytaire met en évidence sa capacité à perturber le cycle énergétique anaérobie, étant donné que les cellules du sang, les érythrocytes, utilisent l'énergie de la glycolyse. Pendant ce processus, le plomb se fixe aux membranes des érythrocytes, perturbe l'activité de la Na-K-ATPase, ce qui mène à la diminution du niveau de potassium et à l'augmentation de la teneur en sodium dans les cellules données. Ce dernier conditionne le gonflement et la glycolyse.

Il se peut qu'à la base de ce processus, on trouve une répression de la formation d'énergie dans le cycle glycolytique.

De cette façon, en perturbant l'approvisionnement énergétique des pompes ioniques ATPase des membranes cellulaires, le plomb induit la destruction des cellules.

La diminution de la quantité de cortisol (schéma 3) dans le sang chez les enfants de Gomel, par rapport aux enfants de Grodno, confirme également la présence de plomb dans leur organisme. Celui-ci perturbe la stéroïdogénèse dans les glandes surrénales, ce qui se répercute, sans aucun doute, sur beaucoup de fonctions principales de l'organisme.



**Schéma 3**

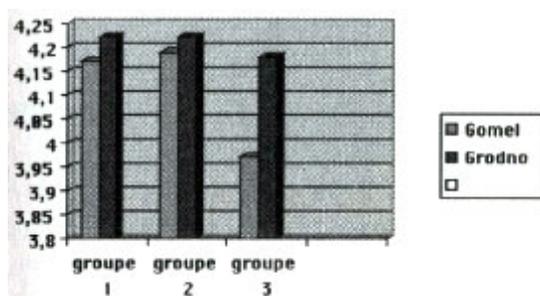
Teneur en cortisol dans le sérum du sang des enfants des villes de Gomel et Grodno (nmol/l)

(groupe 1 : concentration de radiocésium dans l'organisme: 11-25,9 Bq/kg

(groupe 2 : concentration de radiocésium dans l'organisme : 26-36,9 Bq/kg

(groupe 3 : concentration de radiocésium dans l'organisme : 37-74,0 Bq/kg

Une faible quantité de cortisol, combinée à un faible taux de glucose dans le sang (schéma 4), entraîne un travail insuffisant de la glycolyse dont l'énergie est destinée à la pompe Na-K, précisément de la Na-K-ATPase, de la membrane cytoplasmique du cardiomyocyte.



**Schéma 4**

Teneur en glucose dans le sérum du sang des enfants des villes de Gomel et (Grodno (nmol/l)

Groupe I : concentration de radiocésium dans l'organisme: 11-25,9 Bq/kg

Groupe 2 : concentration de radiocésium dans l'organisme: 26-36,9 Bq/kg

Groupe 3 : concentration de radiocésium dans l'organisme : 37-74,0 Bq/kg

La diminution du niveau de cortisol conduit également à la perturbation de la formation des acides gras libres, un substrat énergétique essentiel du cycle cellulaire : le cycle de Krebs.

On ne peut toutefois pas ignorer l'influence directe et néfaste du radiocésium sur cette source fondamentale d'énergie localisée dans les mitochondries.

Ainsi, l'influence combinée du radiocésium et du plomb sur l'organisme et le déficit d'énergie qui s'ensuit conduisent à la perturbation du courant transmembranaire des ions, et donc du potentiel d'action. La transmission de l'impulsion électrique dans le coeur s'en trouve perturbée. Apparaît alors une situation semblable à celle que nous avons enregistrée auprès des enfants de la ville de Gomel et des régions avoisinant la centrale électrique nucléaire de Tchernobyl.

Le plomb participe également à la perturbation des échanges des hormones de la glande thyroïde. Les schémas 5 et 6, publiés dans la monographie sus indiquée, font état des différences importantes entre la teneur en triiodothyronine et en thyroxine dans le sang des enfants de Gomel et de Grodno. Compte tenu des rapports réciproques complexes et des liens régulateurs, on peut parler ici d'une lésion du système enzymatique qui participe à la formation de la triiodothyronine à partir de la thyroxine. Ce processus est contrôlé par la sélénoprotéine déiodinase de type 1 des cellules des tissus périphériques : il exige de grandes dépenses d'énergie conditions pour une augmentation de la thyroxine dans le sang.

Pour confirmer le rôle essentiel de la déiodinase dans la pathologie du myocarde, notons que la carence en sélénium, qui entre dans sa composition, provoque des changements pathologiques dans le myocarde, en particulier l'hypertrophie et la nécrose focale .

Si l'on tient compte de la perturbation des processus de la respiration aérobie et de la glycolyse sous l'influence du Cs-137 et du plomb, on peut affirmer que le profil hormonal de la thyroïde est altéré chez les enfants de Gomel, étant donné que la thyroxine, contrairement à la triiodothyronine, ne peut pas bloquer la fabrication de l'hormone thyrotrope (par l'hypophyse) qui provoque la prolifération de l'épithélium thyroïdien.

La thyroxine a une grande influence sur les cellules du myocarde. Son action, tout comme celle de la triiodothyronine, est dirigée vers les processus de phosphorylation oxydative des mitochondries, le transport des ions.

La thyroxine stimule la synthèse d'AMP par les cardiomyocytes, ce qui active l'entrée des ions de calcium dans la cellule, dépendant des AMP et de la protéine kinase.

Un surplus de calcium se crée dans la cellule, cela désorganise les structures des myofibrilles parce que la synthèse du facteur de croissance et de l'hyperproduction de collagène est renforcée. Au bout du compte, les chaînes lourdes et légères de la myosine sont modifiées; cela conduit à l'hypertrophie du myocarde.

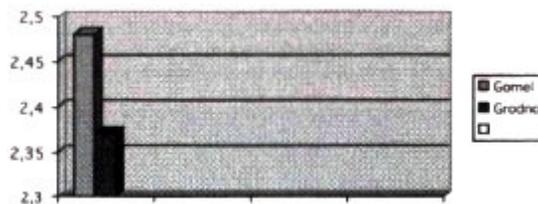
Le calcium est un messager intracellulaire universel, car il prend part à pratiquement tous les processus intracellulaires. La Ca-ATPase le fait entrer dans la cellule et l'expulse dans l'espace extracellulaire.

Pour évacuer le calcium de la cellule, il faut de l'énergie apportée par l'ATP; mais sous l'influence du Cs-137, la production d'ATP est nettement diminuée. Une surcharge en calcium apparaît dans le cardiomyocyte, ce qui crée les conditions pour un arrêt du coeur dû à la contraction excessive des myofibrilles.

Cet état, nous avons pu l'observer chez des habitants de l'oblast de Gomel atteints de mort subite, ainsi qu'au cours d'expériences où nous injectons du Cs-137 aux animaux de laboratoire.

Les hormones de la thyroïde exercent une influence directe sur les cellules des tissus osseux par des récepteurs spécifiques (TR-alpha 1 et 2, TR-bêta 1 et 2), en particulier sur les ostéoblastes (elle accélère leur différenciation). Mais quand la concentration dépasse les doses physiologiques, elles sont capables d'inhiber la maturation des cellules précédant les ostéoblastes. En stimulant la sécrétion de cytokine qui active les ostéoclastes, les hormones de la thyroïde favorisent la résorption des os. Justement, lors de l'hyperthyroïdie, l'échange osseux augmente à cause de l'accroissement de la quantité des ostéoclastes et du fait que la corrélation entre les espaces de la résorption et les espaces générateurs des os est perturbée; la surface de la matrice non minéralisée augmente.

Évidemment, lors de ce processus, la teneur en calcium augmente dans le sang, ce que nous avons aussi enregistré en examinant les enfants de la ville de Gomel (schéma 7).



**Schéma 7**

Teneur en calcium dans le sérum du sang des enfants des villes de Gomel et de Grodno (mmol/l).

Une forte teneur en calcium dans le sang peut être liée à la perturbation de la production de la thyrocalcitonine sous l'influence du radiocésium et du plomb incorporés par la glande thyroïde, mais aussi de l'hormone thyroïdienne de l'hypophyse.

Une forte teneur en calcium dans le sang active l'ATPase calcium dépendante du sarcolemme, du réticulum sarcoplasmique et des mitochondries. Cela fait augmenter le rythme de son absorption par les cardiomyocytes. Le déficit énergétique des cardiomyocytes peut également être lié à la perturbation de la production de créatine dans le foie. Ce métabolite se synthétise à partir des acides aminés essentiels de l'arginine et de la méthionine, ainsi que de la glycine. La créatinine entre librement dans les cellules, elle se combine à un groupe phosphate pour former la créatinine phosphate. Celle-ci a les propriétés d'un régulateur métabolique cellulaire grâce auquel un lien se crée entre les sources d'énergie (les mitochondries) et les structures où cette énergie est consommée (le réseau cytoplasmique, l'appareil de Golgi, les lysosomes, etc.). À l'aide d'une enzyme spécifique, la créatine phosphokinase, le transfert du groupe phosphate sur les molécules

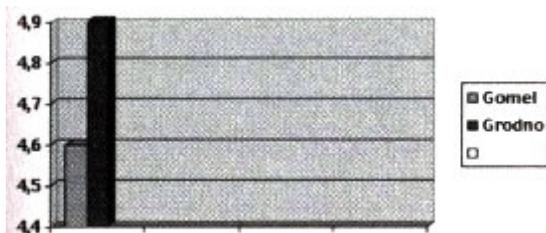
d'ADP se réalise dans les organelles, avec formation d'ATP. Le processus inverse se réalise dans les mitochondries.

La créatine phosphate en tant que source d'énergie ne peut exister librement que dans le cytoplasme de la cellule. Dans les organelles, en dehors de la cellule, il ne peut pas exister. Là, son rôle est accompli par les molécules d'ATP.

De cette façon, n'importe quelle lésion des cellules du foie qui viendrait perturber la synthèse de la créatine, conduirait au manque d'approvisionnement énergétique des cellules de tout l'organisme et, en premier lieu, du coeur et du cerveau, en particulier à l'accumulation des ions de calcium dans ces organes.

Le système créatine phosphokinase est étroitement lié à la créatine en tant que substrat. Dans le sang, une certaine dépendance s'installe entre la quantité de ces deux composants. On estime que le niveau d'activité de la créatine phosphokinase est le plus labile de tous les indices métaboliques, il reflète l'état de l'adaptation physiologique de l'organisme.

Les recherches en laboratoire menées sur des enfants de Gomel ont montré que dans leur sang, il y a beaucoup moins de créatinine que dans celui des enfants de Grodno. Cela indique l'existence d'un problème dans le cycle énergétique (ATP/ADP) de l'organisme (schéma 8).



**Schéma 8**

Teneur en créatinine dans le sérum du sang des enfants des villes de Gomel et de Grodno (mmol/l)

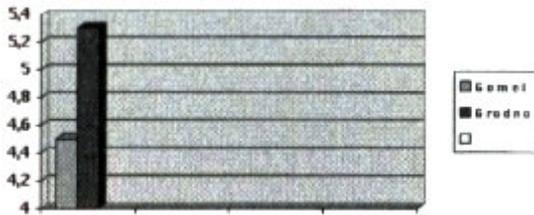
Le radiocésium touche directement le système créatine kinase du cardiomyocyte: cela a été démontré par nos recherches sur des animaux de laboratoire.

En agissant sur les cellules du foie, le Cs-137 et le plomb perturbent les processus synthétiques, ce qui se manifeste par une diminution de la teneur en albumine et en cholestérol dans le sang (schémas 9 et 10). Sans aucun doute, cela a une influence négative sur l'échange des substances dans les cardiomyocytes.



**Schéma 9**

Teneur en albumine dans le sérum du sang des enfants des villes de Gomel et de Grodno (g/l)

**Schéma 10**

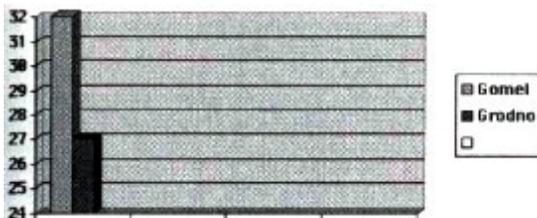
Teneur en cholestérol du sang des enfants des villes de Gomel et de Grodno (mmol/l)

Le cholestérol et la vitamine D (qui se forme de façon endogène à partir du cholestérol) participent activement à l'ostéogenèse, en particulier à la formation et à la minéralisation de la matière organique. Par conséquent, la diminution de ce métabolite peut aussi être une cause de la teneur élevée en calcium dans le sang.

L'augmentation dans le sang de l'alanine aminotransférase (ALAT) et de l'aspartate aminotransférase (ASAT) chez les enfants de Gomel par rapport aux enfants de Grodno reflète le déficit énergétique des cellules du cœur et du foie, et la destruction des structures correspondantes (schémas 11 et 12).

**Schéma 11**

Activité des ALT dans le sérum du sang des enfants des villes de Gome et de Grodno (g/l)

**Schéma 12**

Activité des AST dans le sérum du sang des enfants des villes de Gomel et de Grodno (IU/l)

De cette façon, la conduction intracardiaque de l'impulsion électrique est perturbée lorsque l'organisme incorpore du radiocésium et du plomb. La lésion du système énergétique du myocarde est à la base de ce processus. Le déficit énergétique qui apparaît est une cause des arythmies.

Notre attention est attirée par la fréquence identique et assez élevée des perturbations de l'ECG (le blocage des pieds du faisceau HIS) chez les enfants des deux groupes lors d'une concentration initiale en radionucléide dans l'organisme de 11,0 à 26,9 Bq/kg. On a l'impression qu'une teneur relativement faible de Cs-137 dans l'organisme de ces enfants induit la pathologie cardiaque que nous avons mentionnée ci-dessus.

Bien entendu, nous ne parlons pas ici d'une quelconque action du rayonnement

radioactif, consécutive à la désintégration de la quantité de ce radionucléide, ni de l'effet toxique de l'élément chimique lui-même.

Nous avons plutôt affaire ici à l'introduction d'éléments chimiques dans des processus d'importance vitale et, avant tout, dans les processus régulateurs.

## Conclusion

Par rapport à tout cela, je me permets de proposer l'hypothèse selon laquelle les radionucléides de radiocésium perturbent les liens immunorégulateurs entre les cellules du système immunitaire et de tous les autres organes assurant la stimulation de l'activité de l'appareil génétique cellulaire. C'est particulièrement important lorsqu'un gène de la paire allèle ne fonctionne pas. Pour que l'un ou l'autre caractère soit correctement réalisé, il faut que le fonctionnement du gène allèle restant soit renforcé. Le système immunitaire stimule leur activité en produisant ce qu'on appelle les protéines régulatrices.

Le radiocésium, par son influence sur les cellules du système immunitaire, perturbe ce lien et permet ainsi la manifestation phénotypique de défauts génétiques cachés.

On peut présumer que les radionucléides interagissent avec les récepteurs des protéines de la membrane cytoplasmique des cellules suppressives thymodépendantes; par conséquent, ces dernières ne peuvent pas entrer en contact avec les molécules des protéines fonctionnelles des cellules du tissu drainé, qui arrivent par la lymphe. Pour cette raison, le système immunitaire n'apporte plus assez de protéines régulatrices correspondantes au tissu. La synthèse des protéines réceptrices, structurelles et de transport de la membrane cytoplasmique des cardiomyocytes est perturbée. Les conditions pour l'altération de la conduction de l'impulsion électrique dans le myocarde sont réunies.

Outre le fait que le radiocésium bloque les récepteurs des organes immunocompétents, nous pensons qu'il ne faut pas perdre de vue que les processus régulateurs peuvent être avant tout perturbés par un déficit énergétique.

Dans tous les cas, l'introduction de radionucléides de Cs-137 dans l'organisme révèlent des défauts génétiques par des maladies correspondantes. Par exemple le dérèglement du rythme de l'activité cardiaque, les malformations congénitales multifactorielles. De faibles doses de Cs-137 donnent lieu à une perturbation des liens régulateurs dans l'organisme; elles détruisent les réactions compensatoires d'adaptation si l'appareil génétique présente des défauts.

Lors de l'action prolongée des radionucléides de Cs-137 et de plomb sur des organes et systèmes vitaux pour l'organisme de l'enfant, les processus pathologiques suivants ont lieu

1. la destruction du système mitochondrial, le cycle de Krebs (diminution de l'activité de la créatine phosphokinase, diminution de la teneur en créatinine);
2. la perturbation de la formation du glucose par le foie, comme une des sources d'énergie principale du cardiomyocyte, la glycolyse;
3. la perturbation des processus de dé iodation dans les tissus et l'augmentation de la teneur en thyroxine dans le sang et les cellules, en exerçant une influence toxique sur les mitochondries;

4. la diminution de la production de cortisol, et par conséquent, l'impossibilité de mettre en marche les processus de la formation nécessaire des acides gras libres, les substrats essentiels du cycle de Krebs;
5. la perturbation de la construction des structures membranaires des cardiomyocytes à cause du défaut du matériel protéique et énergétique, en particulier le cholestérol;
6. la destruction des structures cellulaires et la mort des cellules, ce dont témoigne le niveau élevé des enzymes ASAT et ALAT et les résultats de recherches histologiques.

De cette façon, l'altération de l'activité bioélectrique du muscle cardiaque est la conséquence de l'action d'une série d'agents sur les cardiomyocytes et sur l'organisme, qui perturbent les échanges énergétiques et la perméabilité ionique des membranes cytoplasmiques. La déficience du génome joue un grand rôle, car elle est responsable de la synthèse des protéines qui participent aux processus de la perméabilité ionique des membranes, en particulier d'enzymes comme la K-Na-ATPase.

L'action prolongée de fortes doses de Cs-137 et de plomb mène inévitablement au développement de processus dystrophiques et nécrobiotiques dans le myocarde.

### **Références bibliographiques**

in opus cité p 277, 280

