

ETUDES SUR LA PHYSIOLOGIE ULTRASTRUCTURALE DE L'OREILLETTE

DU COEUR BRANCHIAL DE MYXINE GLUTINOSA

B. Rybak, H. Hoffmeister et H. Ruska*

Zoophysiologie, Université de Caen

et

Institut für Biophysik und Elektronenmikroskopie

der Medizinischen Akademie Düsseldorf

(Received 10 March 1962)

DES recherches antérieures¹⁻³ ont mis en évidence l'existence de granules dans le coeur branchial de Myxine glutinosa, Jensen et le groupe de von Euler² ayant montré la présence de ces formations dans certaines cellules du ventricule, nous-mêmes³ localisant ces granules dans l'oreillette également et plus précisément encore dans les cellules musculaires du ventricule comme de l'oreillette; nous avons de plus montré la présence d'autres granules, environ 4 fois moins gros, dans les espaces intercellulaires et dans les vaisseaux capillaires ou lymphatiques. L'un de nous ayant pu à volonté d'une part produire l'arrêt des contractions automatiques de l'oreillette isolée de Myxine glutinosa à l'aide de 2-désoxy-D-glucose et d'autre part induire la reprise de ces contractions par adjonction de glucose-6-phosphate de sodium,⁴ nous avons recherché au cours du présent travail les modifications qu'entraînent ces traitements chimiques dans la morphologie fine des cellules cardiaques.

Matériel et Techniques

Des exemplaires de Myxine glutinosa venant du Gullmarsfjord (Suède) ont été utilisés. Les préparations d'oreillette isolée et les expériences étaient

* Nous exprimons nos vifs remerciements au Dr. B. Swedmark, Directeur de la Station zoologique de Kristineberg (Suède) pour l'envoi des animaux qui ont fait l'objet de ces recherches. La collaboration technique de Melle B. Schmidt à été très appréciée.

conduites à 20° C, comme il est indiqué en.⁴ Les fixations, les inclusions et les sections étaient pratiquées comme il est indiqué en.³ Tous les clichés reproduits ici sont à un grossissement de 15.000 et ils ont été obtenus avec le microscope électronique Siemens Elmiskop I.

Résultats

Le Cliché 1 montre, à titre de référence, la structure des deux types de cellules que l'on rencontre dans l'oreillette normale.

En A il s'agit d'une partie d'une cellule musculaire auriculaire. On note la présence de myofibrilles entre lesquelles sont situés les granules (forme de stockage³); les mitochondries sont nombreuses et bien conformées et quelques-unes sont légèrement gonflées. Le réticulum endoplasmique est peu développé et les espaces interstitiels sont délimités par deux zones membranaires définies.

En B il s'agit d'une partie d'une cellule non-musculaire bourrée de granules (forme de stockage). De place en place on distingue des formations osmiophiles de dimensions relativement grandes qui sont probablement des lipoprotéines.

Insistons sur ce que nous n'avons jamais pu constater la présence d'un appareil de Golgi ni dans les cellules musculaires ni dans les cellules non-musculaires.

Le Cliché 2 correspond à une partie d'oreillette traitée jusqu' à l'arrêt des contractions par 100 µg de 2-désoxy-D-glucose/ml d'eau de mer diluée. A ce sujet les points suivants sont à noter:

(a) la répartition, le nombre et la taille des granules (forme de stockage) ne sont pas sensiblement différents dans les cellules musculaires ou non-musculaires traitées de ce qu'ils sont dans les cellules normales;

(b) les myofilaments intra-fibrillaires sont déplacés de leur position ordinaire mais ceci peut être attribué à des conditions limites d'oxygénation dans nos expériences;

(c) le cytoplasme est partiellement pycnotique et comme vidé de toute substance;

(d) les mitochondries sont allongées et quelquefois bifides; de plus leur structure interne est floue, les cristae étant mal définies et souvent peu visibles;

(e) le réticulum endoplasmique est légèrement gonflé.

Les Clichés 3 et 4 correspondent à des parties d'oreillette traitées par 100 µg de 2-désoxy-D-glucose/ml d'eau de mer diluée jusqu' à l'arrêt des contractions puis, dans le même milieu, par 100 µg de glucose-6-phosphate de sodium/ml jusqu' à la reprise spontanée des contractions.

Le Cliché 3 montre 7 portions de cellules musculaires séparées par des espaces interstitiels plus ou moins développés. Au niveau interne des zones membranaires et souvent en bordure du noyau, une importante pinocytose se remarque; cette vésiculation est l'expression d'une haute activité interfaciale. Dans la zone membranaire externe, de nombreux petits grains accolés se distinguent qui sont peut-être les formes de transport³ des granules intracellulaires et qui sont situés près de petites vésicules également externes (Cliché 4).

La structure des mitochondries est redevenue celle des mitochondries du coeur non traité en contraction, c'est-à-dire qu'elle se présente avec un contour mitochondrial net et des cristae bien définies; on note aussi quelques mitochondries gonflées.

Le cytoplasme présente souvent des filamentations courtes; quant aux granules ils sont identiques à ceux du coeur normal ou de l'oreillette traitée seulement par le 2-désoxy-D-glucose. Les grandes taches osmiophiles semblent rongées comme si leur substance servait à quelque fourniture énergétique.

Le Cliché 5 correspond à une expérience dans laquelle, après avoir obtenu l'arrêt des contractions de l'oreillette à 20° C par immersion dans une solution renfermant 100 µg de 2-désoxy-D-glucose/ml d'eau de mer diluée, les contractions automatiques ont été de nouveau induites pendant plusieurs minutes, simplement en plaçant le système à 8° C. La pinocytose est alors active au niveau des zones membranaires plasmatique et nucléaire - le noyau est d'ailleurs vacuolisé - et les mitochondries, quoique altérées, présentent cependant dans

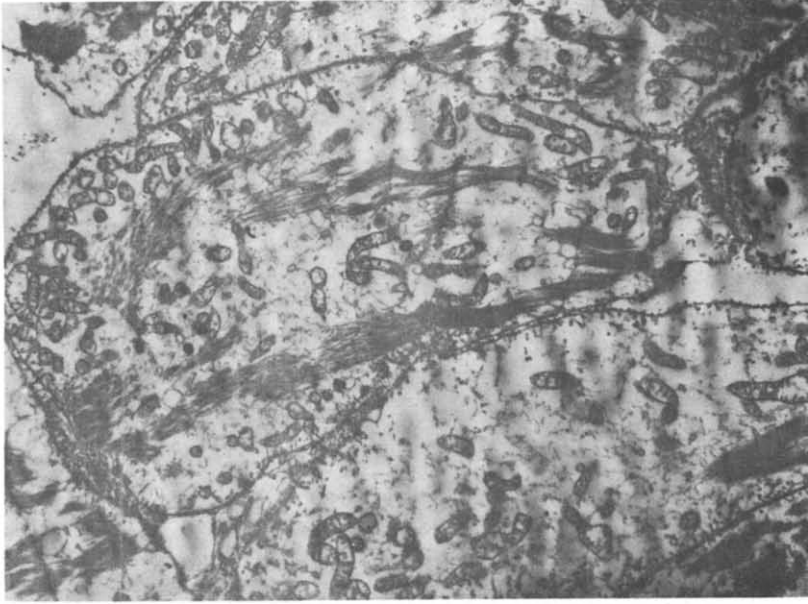
l'ensemble une structure conforme à la normale. Le réticulum endoplasmique est gonflé et les granules (forme de stockage) sont normaux.

Discussion

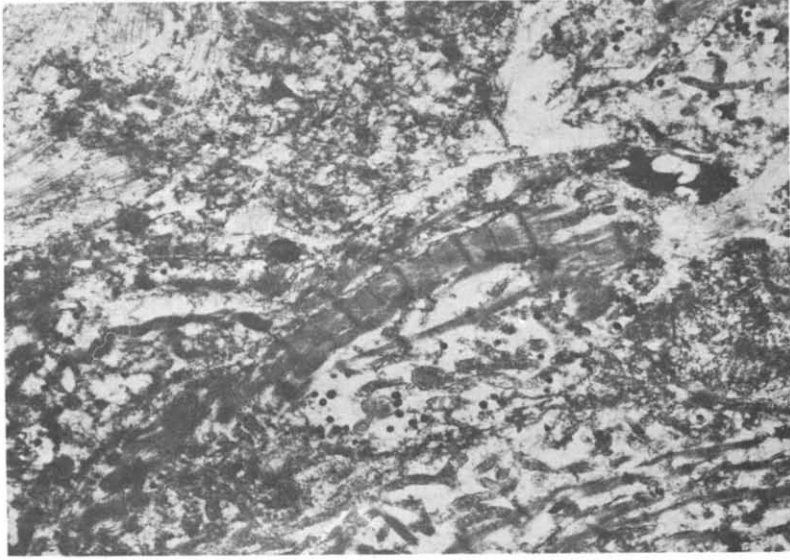
La première impression qui se dégage de l'examen des présents clichés quand on les compare est que les granules - les formes de stockage tout au moins - ne subissent aucune modification quantitative ni qualitative sensible. Par ailleurs l'influence structurale du 2-désoxy-D-glucose porte essentiellement sur les mitochondries. Cette altération peut être considérée comme une conséquence indirecte de l'arrêt des processus glycolytiques⁴ et correspondant alors à une inhibition des processus oxydatifs mitochondriaux; au niveau cytoplasmique, l'arrêt des processus glycolytiques - qui paraissent si essentiels dans l'énergétique de cette entité cardiaque⁵ - seraient responsables aussi du gonflement du réticulum endoplasmique et de la pycnose cytoplasmique.

L'action antidotique du glucose-6-phosphate de sodium est corrélative à un retour à la forme normale des mitochondries tandis que l'intense activité métabolique associée à la normalisation structurale et contractile se manifeste par une pinocytose tant au niveau de la membrane plasmique de la cellule musculaire qu'au niveau de la membrane nucléaire.

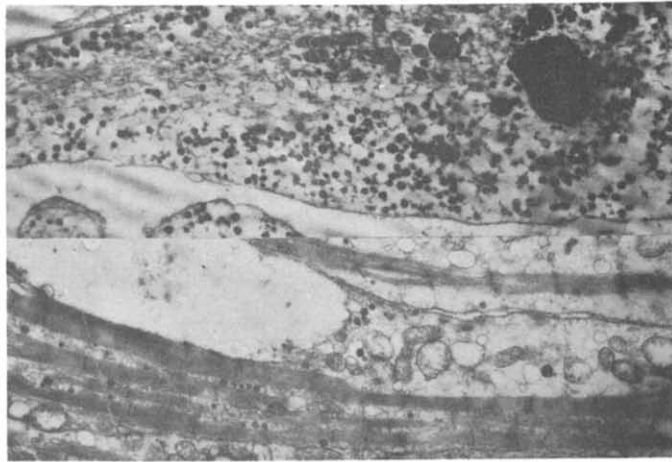
On aura remarqué, dans l'exposé de nos résultats, que lorsque les contractions automatiques cessent sous l'influence du 2-désoxy-D-glucose à 20° C, elles peuvent reprendre lorsque la préparation est placée à plus basse température, notamment à 8° C. En fait 23° C dans l'eau de mer, diluée selon Young⁶, représentent la limite thermique supérieure pour laquelle l'oreillette isolée exsangue du coeur branchial de Myxine glutinosa cesse ses contractions périodiques spontanées, phénomène qui nous paraît être en relation avec les conditions écologiques de vie des Myxines. L'action du 2-désoxy-D-glucose revient en somme à abaisser le seuil de sensibilité thermique des processus contractiles auriculaires. Cependant de toute façon après un délai plus ou moins grand en présence de 2-désoxy-D-glucose au froid, à 8° C par exemple, l'oreillette finit par interrompre ses contractions. Le cliché 5 représente un secteur auriculaire



CLICHE 3.

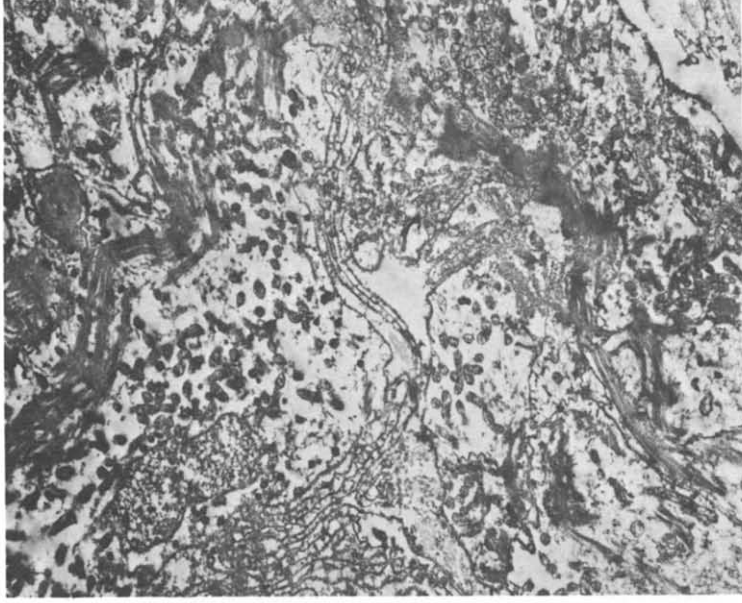


CLICHE 2.

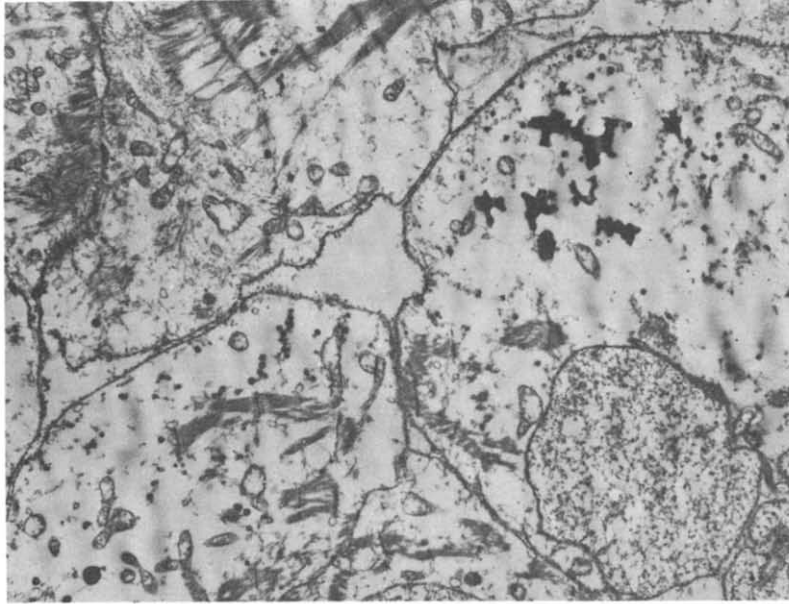


A B

CLICHE 1.



CLICHE 5.



CLICHE 4.

prélevé alors que la préparation se recontractait à 8° C.

En ce qui a trait aux deux types de granules que nous avons pu déceler,³ les points suivants nous paraissent devoir être considérés: la grande concentration en gros granules dans les cellules non-musculaires ("cellules sécrétoires atypiques" de Jensen¹ et Östlund et collaborateurs²) par rapport à la faible concentration de ces granules dans les cellules musculaires peut laisser entendre que les granules sont reconstitués dans les cellules musculaires à partir d'éléments venant de quelque autre point. On peut alors envisager deux éventualités:

- ou bien la cellule non-musculaire, bourrée de granules, concentre d'abord des substances venues de zones extra-cardiaques et les sécrète ensuite, amenant ainsi la libération de structures plus fines qui vont se concentrer en gros granules dans les cellules musculaires,

- ou bien les granules sont synthétisés in situ dans les cellules non-musculaires et, par un processus sécrétoire, des granules fins sont répartis - à la demande ? - dans les cellules musculaires.

Dans la première hypothèse nous nous trouvons dans un cas qui a quelque ressemblance avec ce que l'on sait du fonctionnement hypophysaire et nous remarquerons, dans notre cas, que cette hypothèse implique l'existence de deux pompes cellulaires, l'une au niveau des cellules non-musculaires - très puissante - et une autre - plus faible - au niveau des cellules musculaires. C'est pourquoi nous considérons la seconde hypothèse comme plus vraisemblable. De toute façon les petites granules que nous avons décelés³ doivent correspondre à une forme de transport et très probablement de catécholamines, ce qui n'exclut pas la possibilité que ces catécholamines soient fixées sur des protéines comme il en va très généralement dans les processus de transport sanguins et neuricriniens. Notre opinion est que, dans la mesure où les cellules non-musculaires sont sécrétoires, il s'agit d'éléments cellulaires d'origine nerveuse de sorte que le coeur branchial de Myxine glutinosa serait finalement sous commande neuro-sécrétoire et ce serait les catécholamines qui interviendraient dans le métabolisme directeur de l'automatisme contractile. Dans cette optique le concept

lié au terme aneural est susceptible de recevoir une nouvelle acception, à savoir qu'un coeur dépourvu d'axones et de péricaryones⁷⁻⁹ peut posséder cependant des cellules d'origine nerveuse.

Résumé

(1) Sous l'action asystolisante du 2-désoxy-D-glucose appliqué à l'oreillette isolée exsangue de Myxine glutinosa, ce sont les mitochondries des cellules musculaires qui sont essentiellement altérées, tandis que, très remarquablement, les granules (forme de stockage) sont intacts.

(2) Lorsque les contractions de l'oreillette sont induites de nouveau par voie chimique (adjonction de glucose-6-phosphate de sodium) ou par voie physique (froid), les mitochondries reprennent leur aspect initial tandis qu'une forte pinocytose se manifeste aux niveaux membranaires plasmatique et nucléaire.

(3) A partir d'une discussion sur la signification des fins granules que nous avons qualifiés antérieurement de formes de transport, nous sommes conduits à admettre que les cellules non-musculaires sont sécrétoires et qu'elles auraient une origine nerveuse.

Bibliographie

1. D. JENSEN, J. Gen. Physiol. 42, 280-302 (1958).
2. E. ÖSTLUND, G. BLOOM, J. ADAMS-RAY, M. RITZEN, M. SIEGMAN, H. NORDENSTAM, F. LISHAJKO et U.S. von EULER, Nature, Lond. 188, 324-325 (1960).
3. H. HOFFMEISTER, K. LICKFELD, H. RUSKA et B. RYBAK, Z. Zellforsch. 55, 810-817 (1961).
4. B. RYBAK, J. Physiol. 51, 631-637 (1959).
5. B. RYBAK et P. BOIVINET, C.R. Acad. Sci., Paris, 249, 2231-2233 (1959).
6. J.J. YOUNG, Pubbl. Staz. Zool. Napoli 12, 425 (1932).
7. A.J. CARLSON, Z. Allgem. Physiol. 4, 259-288 (1904).
8. K.B. AUGUSTINSON, R. FÄNGE, A. JOHNELS et E. ÖSTLUND, J. Physiol. 131, 257-276 (1955).
9. E. ÖSTLUND, Acta Physiol. Scand. 31, suppl. 112 (1954).