

INFLUENCE DES INTERACTIONS DES IONS SODIUM ET POTASSIUM SUR L'ABSORPTION GASTRIQUE DU CALCIUM CHEZ LES BOVINS

D. TIMET, D. EMANOVIĆ, Melita HERAK, P. KRALJEVIĆ et V. MITIN

Laboratoire de Physiologie et Radiobiologie, Faculté Vétérinaire Université de Zagreb, B.P. 190, YU-41001 Zagreb, Yougoslavie

Summary

INFLUENCE OF SODIUM AND POTASSIUM IONIC INTERACTIONS ON GASTRIC ABSORPTION OF CALCIUM IN CATTLE. — The influence of potassium ions on the stimulative effect of sodium ions in the gastric absorption of calcium was studied *in vitro*, using bags made of the surviving mucous membrane of different compartments of the bovine stomach. The epithelial side of the mucous membrane faced towards the inside of the bags. The bags were filled with a combined solution of calcium, sodium and potassium chloride. The concentration of calcium was always the same (10 mg/100 ml). The concentration of sodium varied, amounting to 102.5, 205 and 1025 mg/100 ml. The concentration of potassium also varied, amounting to 90 and 9 mg/100 ml. The external face of the bags was placed in Tyrode's solution. The absorption was recorded by the radioisotopic technique, using ^{45}Ca as the tracer. With the physiologic potassium concentration in the contents (90 mg/100 ml), the presence of potassium ions somewhat modified the stimulative effect of sodium ions. At the subnormal sodium concentration (102.5 mg/100 ml), the absorption of calcium was reinforced in all compartments of the bovine stomach. At the physiologic sodium concentration (205 mg/100 ml), the presence of potassium ions reinforced the stimulative effect of sodium ions only in the abomasum ; under the same conditions, the stimulative effect grew weaker in the rumen, and in the omasum, the presence of potassium ions was without any influence. Finally, at the supernormal sodium concentration (1025 mg/100 ml), the presence of potassium ions practically exerted no influence on the stimulative effect of sodium ions in all compartments. With 9 mg potassium/100 ml, the influence of potassium ions was considerably weakened, but not completely extinguished. In view of the results obtained, the importance of the ionic interactions in the contents of the digestive tract for the current output of calcium gastric absorption is emphasized.

L'absorption du calcium dans le tube digestif des ruminants est très souvent insuffisante par

comparaison avec la quantité présente dans les fourrages (Rako *et al.*, 1968). Cette insuffisance

est habituellement attribuée à la solubilité assez faible des ingrédients utilisés pour la préparation des suppléments minéraux.

Dans quelques publications précédentes nous avons signalé que l'absorption du calcium peut être stimulée en augmentant la concentration de sodium dans les contenus des estomacs (Timet *et al.*, 1978, 1981a, b). Cet effet stimulant des ions sodium sur l'absorption du calcium persiste même avec l'utilisation comme source de calcium le carbonate ou le phosphate, sel moins soluble ou moins dissocié que le chlorure (Timet *et al.*, 1981a). De plus, cet effet stimulant des ions sodium ne disparaît pas après intoxication de la muqueuse au cyanure de sodium, quoique l'intensité de l'absorption du calcium soit alors diminuée (Timet *et al.*, 1979). Ceci nous a incités à supposer que cet effet est basé sur des interactions ioniques.

Au cours de ces expériences, une solution relativement simple, contenant seulement deux composants, le chlorure de sodium et un sel de calcium, était introduite dans la cavité de divers compartiments de l'estomac du bœuf. Dans les conditions naturelles, une solution plus complexe se trouve dans ces cavités. On pourrait donc supposer que la présence d'autres éléments minéraux risque de modifier ou même d'annuler l'action stimulante des ions sodium. Pour étudier cette hypothèse, nous avons ajouté un troisième élément à la solution calcique initiale, les ions potassium.

Matériel et Méthodes

La méthode expérimentale a été décrite dans une publication précédente (Timet *et al.*, 1981a). Cette méthode utilise des sacs préparés avec de la muqueuse gastrique en survie. Les muqueuses de la panse, du feuillet et de la caillette de bœuf ont été successivement utilisées. La surface épithéliale de la muqueuse était orientée à l'intérieur des sacs.

Trois groupes d'expériences ont été réalisés. Dans le premier groupe, les sacs sont remplis avec une solution mixte de chlorure de calcium et de sodium. La concentration en calcium reste fixe (10 mg/100 ml), tandis que la concentration en sodium est variable : dans une série d'essais, elle s'élève à 102,5 mg/100 ml, dans une autre à 205 mg/100 ml (concentration normale du sodium dans les contenus de la panse), et dans la troisième à 1 025 mg/100 ml. Ce groupe a servi comme contrôle.

Dans le deuxième groupe d'expériences, les

sacs sont remplis avec une solution mixte de chlorure de calcium, de sodium et de potassium. Les concentrations de calcium et de sodium sont les mêmes que dans le premier groupe. La concentration de potassium s'élève à 90 mg/100 ml (concentration normale de cet ion dans les contenus de la panse).

Dans le troisième groupe d'expériences, la seule différence par rapport au deuxième groupe effectuée la concentration du potassium qui est de dix fois plus faible (9 mg/100 ml).

L'absorption du calcium est suivie à l'aide de la technique aux radioisotopes. Dans ce but, une petite quantité de chlorure de calcium-45 (1 μ C/ml) est introduite dans les sacs, et l'apparition de la radioactivité est enregistrée dans la solution extérieure aux sacs à l'aide d'un compteur de Geiger-Müller. Les résultats sont corrigés en fonction du bruit de fond et de la demi-vie du radioisotope, ainsi que du rapport entre les volumes respectifs de solution à l'intérieur et à l'extérieur du sac. Les résultats définitifs des expériences sont exprimés en pourcentage par rapport à la radioactivité initiale introduite dans les sacs au début de chaque expérience.

Tous les résultats sont soumis à une étude statistique et les différences entre les séries expérimentales sont évaluées d'après le test du *t* (Renner, 1970).

Résultats

Les résultats des expériences sont présentés dans la figure 1, en fonction de la radioactivité enregistrée dans la solution du côté sous-muqueux de la membrane absorbante sept heures après l'introduction du radioisotope dans les sacs.

1. — CaCl₂ + NaCl

Dans la panse (Ru)

La radioactivité enregistrée en fin d'expérience est d'environ 150 % plus grande avec la concentration de sodium de 205 mg/100 ml qu'avec la concentration de 102,5 mg/100 ml ($P < 0,05$), et elle est de 100 % plus grande avec la concentration de sodium de 1 025 mg/100 ml qu'avec la concentration de 205 mg/100 ml ($P < 0,02$). Au total, l'absorption du calcium est à peu près augmentée de 400 % avec la concentration de sodium de 1 025 mg/100 ml par rapport à la concentration de 102,5 mg/100 ml ($P < 0,005$).

Dans le feuillet (Om)

La radioactivité est en moyenne de 35 % supérieure à la concentration de sodium de 205 mg/100 ml qu'à celle de 102,5 mg/100 ml, mais cette différence n'est pas significative. Quand la concentration de sodium est portée de 205 mg/100 ml à 1 025 mg/100 ml, cette radioactivité augmente de 62 % en moyenne, et cette différence est significative au niveau de 0,05. Au total, l'absorption du calcium est augmentée d'environ 120 % avec la concentration de sodium de 1 025 mg/100 ml par rapport à la concentration de 102,5 mg/100 ml ($P < 0,005$).

Dans la caillette (Ab)

Au bout de la septième heure de l'expérience, la radioactivité est à peu près de même valeur pour les concentrations de sodium de 102,5 mg/100 ml et de 205 mg/100 ml. Mais elle

augmente de 260 % en moyenne quand cette concentration est portée de 205 mg/100 ml à 1 025 mg/100 ml ($P < 0,001$).

2. - $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl} + \text{KCl}$ (90 mg/100 ml)

Dans la panse (Ru)

La radioactivité, enregistrée sept heures après l'introduction du radioisotope dans les sacs, est en moyenne de 50 % plus faible quand la concentration de sodium s'élève à 205 mg/100 ml que lorsqu'elle s'élève à 102,5 mg/100 ml. Elle augmente de 150 % en moyenne quand cette concentration est portée de 205 mg/100 ml à 1 025 mg/100 ml. Ces deux différences sont significatives (respectivement $P < 0,05$ et $P < 0,001$). Par contre, la radioactivité enregistrée pour la concentration de sodium de

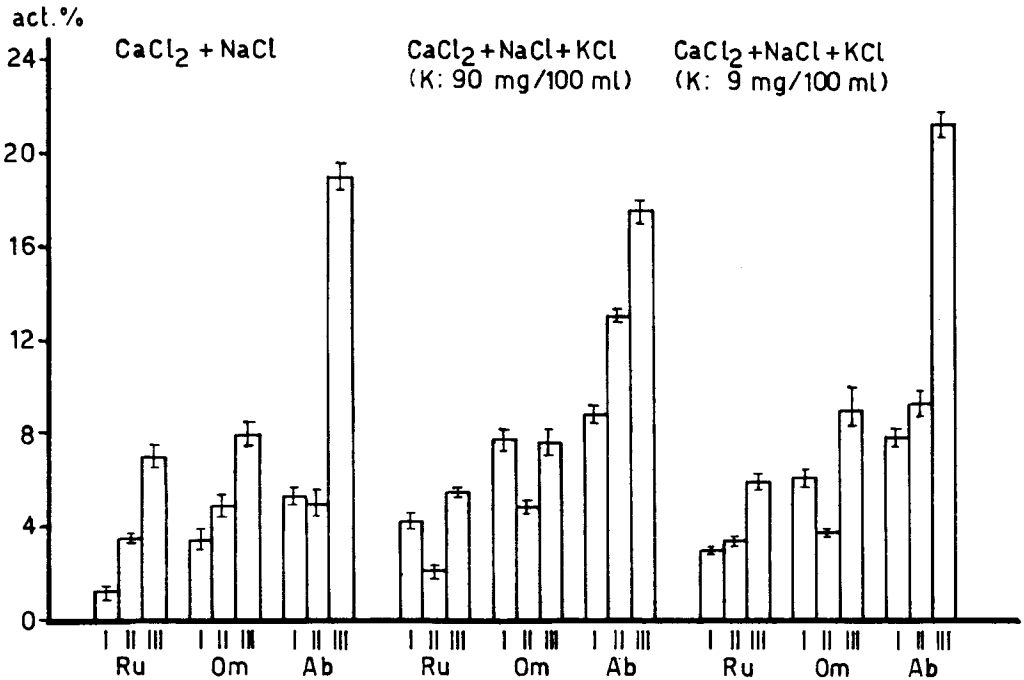


Fig. 1. — Valeurs de la radioactivité mesurée dans la solution à l'extérieur des sacs 7 h après introduction du radioisotope ^{45}Ca dans les sacs. Les sacs, préparés avec la muqueuse de la panse (Ru), du feuillet (Om) et de la caillette (Ab), sont remplis avec une solution mixte, composée de : $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$ (partie gauche), $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl} + \text{KCl}$ (K: 90 mg/100 ml) (partie centrale) et $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl} + \text{KCl}$ (K: 9 mg/100 ml) (partie droite). Les concentrations de sodium sont respectivement de 102,5 (I), 205 (II) et 1025 (III) mg/100 ml. La radioactivité est exprimée en pourcentage de la radioactivité introduite dans les sacs. Chaque colonne représente la moyenne de huit expériences ($\pm \text{mM}$).

1 025 mg/100 ml est seulement de 25 % en moyenne plus grande qu'avec la concentration de 102,5 mg/100 ml et cette différence n'est pas significative.

Dans le feuillet (Om)

La situation est presque la même que pour la panse. La radioactivité est de 38 % plus faible en moyenne quand la concentration de sodium s'élève à 205 mg/100 ml que lorsqu'elle est de 102,5 mg/100 ml ; cette différence est significative au niveau de 0,02. Quand la concentration de sodium est portée de 205 mg/100 ml à 1 025 mg/100 ml, elle augmente de 58 % en moyenne ; cette différence est également significative ($P < 0,05$). En même temps, il n'y a pratiquement aucune différence d'absorption du calcium entre les concentrations de sodium de 102,5 mg/100 ml et de 1 025 mg/100 ml.

Dans la caillette (Ab)

Dans ce compartiment, la situation est tout à fait différente. La radioactivité est en moyenne de 50 % plus élevée avec la concentration de sodium de 205 mg/100 ml qu'avec la concentration de 102,5 mg/100 ml ; cette augmentation est très significative ($P < 0,001$). Quand cette concentration est portée de 205 à 1 025 mg/100 ml, une nouvelle augmentation moyenne de 35 % se produit ; cette augmentation est significative au niveau de 0,01. Au total, en augmentant la concentration de sodium dans les sacs de 10 fois, l'absorption du calcium est augmentée d'environ 100 % ; cette différence est aussi très significative ($P < 0,001$).

3. — $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl} + \text{KCl}$ (9 mg/100 ml)

Dans la panse (Ru)

La radioactivité avec la concentration de sodium de 205 mg/100 ml est à peu près de même valeur qu'avec la concentration de 102,5 mg/100 ml. Quand cette concentration est portée de 205 à 1 025 mg/100 ml, elle augmente en moyenne de 80 % ($P < 0,005$).

Dans le feuillet (Om)

Dans ce compartiment, la radioactivité est en moyenne de 60 % plus faible avec la concentration de sodium de 205 mg/100 ml qu'avec la concentration de 102,5 mg/100 ml ($P < 0,01$). Quand cette concentration est portée à 1 025 mg/100 ml, elle augmente et dépasse la valeur observée avec la concentration de 205 mg/100 ml de 140 % en moyenne ($P < 0,001$), et la radioactivité avec la concentration de 102,5 mg/100 ml de 45 % en moyenne (cette différence n'est pas significative).

Dans la caillette (Ab)

La radioactivité avec la concentration de sodium de 205 mg/100 ml dépasse la valeur obtenue avec la concentration de sodium de 102,5 mg/100 ml de 17 % seulement en moyenne ; cette différence n'est pas significative. Par contre, lorsque la concentration de sodium est portée de 205 mg/100 ml à 1 025 mg/100 ml, la radioactivité augmente considérablement et dépasse la valeur obtenue avec la concentration de sodium de 205 mg/100 ml de 130 % en moyenne, et la valeur avec la concentration de sodium de 102,5 mg/100 ml de 170 % en moyenne ; ces deux différences sont très significatives ($P < 0,001$).

Discussion

Ainsi que nous l'avons démontré dans des publications précédentes (Timet *et al.*, 1978, 1981a, b), l'intensité de l'absorption des ions calcium dans les divers compartiments de l'estomac de bœuf augmente quand la concentration de sodium dans les contenus est augmentée. Avec une solution initiale simple, composée seulement de chlorure de calcium et de sodium, cette augmentation apparaît dans la panse et dans le feuillet pour toutes les concentrations de sodium étudiées, à partir de la concentration subnormale (102,5 mg/100 ml) jusqu'à la concentration supranormale (1 025 mg/100 ml). Dans la caillette, elle ne se manifeste qu'au-delà de la concentration physiologique (205 mg/100 ml).

Dans le présent travail, un troisième élément était introduit dans la solution initiale, le chlorure de potassium, à la concentration physiologique ordinairement trouvée dans le contenu de la panse de bœuf (Forenbacher *et al.*, 1967). Par suite de cette modification de la composition chimique de la solution initiale, l'absorption des ions calcium n'augmente plus régulièrement avec la concentration des ions sodium dans les contenus. Elle est minimale avec la concentration physiologique de sodium et augmente aussi bien lorsque cette concentration est augmentée ou diminuée. Uniquement dans la caillette, l'absorption du calcium augmente parallèlement à la concentration de sodium. De plus, cette augmentation s'observe pour toutes les valeurs étudiées des concentrations de sodium, ce qui n'est pas le cas avec la solution initiale composée seulement de chlorure de calcium et de sodium.

En analysant les résultats de l'absorption du calcium en présence de différentes concentrations de sodium par rapport à la présence ou l'absence des ions potassium, plusieurs faits nouveaux apparaissent (fig. 2).

Avec 90 mg potassium/100 ml, la présence des ions potassium stimule l'absorption du calcium en présence des concentrations subnormales de sodium dans les trois compartiments de l'estomac du bœuf. Pour les concentrations physiologiques, elle renforce l'effet stimulant des ions sodium dans la caillette seulement ; dans la panse, elle la supprime, et dans le feuillet, elle est sans influence. Enfin, pour les concentrations supranormales de sodium, la présence des ions potassium est sans aucune influence sur l'action stimulante des ions sodium dans les trois compartiments.

Avec la concentration de potassium réduite au dixième de sa valeur physiologique (9 mg/100 ml), ces effets sont considérablement affaiblis, et dans la panse et dans la

caillette l'allure générale du graphe (fig. 1) commence à ressembler à la situation en l'absence des ions potassium. Donc, même avec cette concentration réduite, l'influence des ions potassium se fait sentir dans les trois compartiments de l'estomac.

Par conséquent, l'intensité de l'absorption du calcium dépend non seulement de la concentration présente des ions sodium mais aussi de la proportion de Na/K dans les contenus. Avec des concentrations physiologiques de sodium et de potassium, l'absorption du calcium est assez faible dans la panse ; dans le feuillet, elle est d'une valeur médiocre, mais dans la caillette, elle est stimulée considérablement par rapport à la solution sans ions potassium. Avec des concentrations normales de potassium et subnormales de sodium, l'absorption du calcium est stimulée dans les trois compartiments de l'estomac. Avec des concentrations normales de sodium et subnormales de potassium, l'absorption du calcium est stimulée seulement

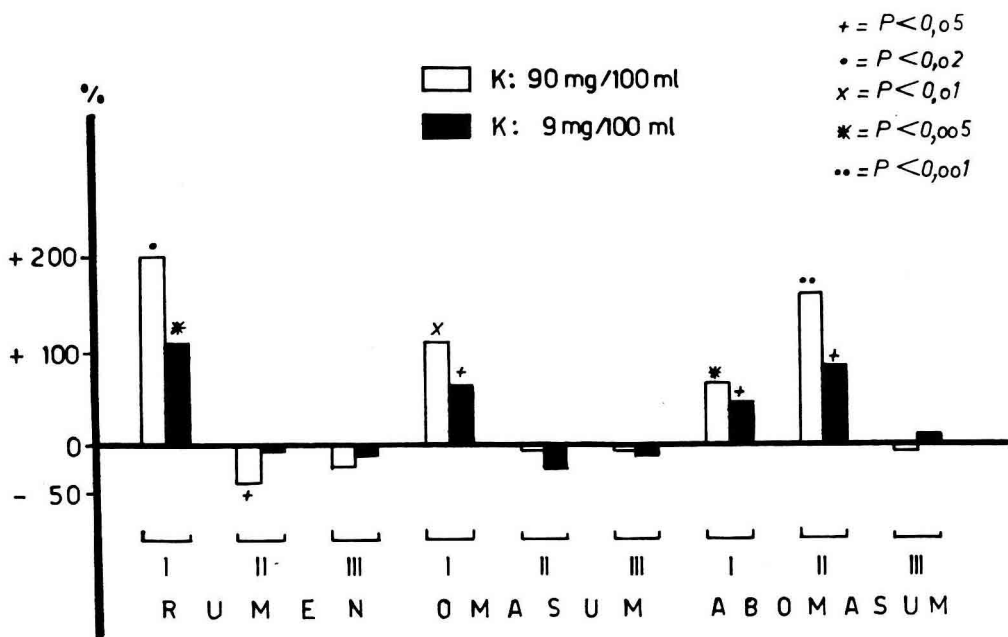


Fig. 2. — Intensité de l'absorption du calcium en présence des ions potassium (90 et 9 mg/100 ml), exprimée en pourcentage par rapport à la solution sans potassium (0). Concentrations concomitantes de sodium : I 102,5, II 205, III 1025 mg/ml.

dans la caillette. Pour des concentrations subnormales de sodium et de potassium, l'absorption du calcium est stimulée dans la panse et dans la caillette. Enfin, pour des concentrations supranormales de sodium et physiologiques ou subnormales de potassium, la présence des ions potassium est sans influence sur l'absorption augmentée du calcium.

Ainsi, en général, la présence des ions potassium n'exerce aucune action défavorable sur l'effet stimulant des ions sodium sur l'absorption gastrique du calcium. Un seul cas fait exception, celui de la panse avec une concentration physiologique de sodium, où les ions potassium font diminuer l'absorption. Toutefois, dans ce compartiment, l'absorption du calcium est assez tardive, même en l'absence des ions potassium. D'autre part, dans la caillette (où l'absorption du calcium est beaucoup plus rapide), avec la même concentration de sodium, la présence des ions potassium renforce considérablement l'absorption, compensant ainsi l'action dépressive exercée sur la panse.

Les résultats de ces expériences confirment l'hypothèse précédemment exprimée (Timet *et al.*, 1979, 1981a), c'est-à-dire que l'action stimulante exercée par les ions sodium sur l'absorption gastrique du calcium est produite par les interactions ioniques. La variabilité de l'effet du

pH sur l'absorption gastrique du calcium à partir de solutions de différentes compositions chimiques (Timet, 1981) est aussi en faveur de cette hypothèse. C'est pourquoi il nous semble que les proportions relatives entre le calcium et les divers ions en présence, ainsi que de ces divers ions entre eux, jouent un rôle prédominant dans l'absorption gastrique du calcium, déterminant le niveau de cette absorption dans chaque situation particulière. Autrement dit, on pourrait adapter l'utilisation du calcium à partir des fourrages et des suppléments minéraux aux besoins actuels de l'organisme et améliorer cette utilisation dans les cas où elle n'est pas satisfaisante, en tenant compte de ces interactions ioniques.

Accepté pour publication, le 20 janvier 1983.

Remerciements

Les recherches qui font l'objet de ce mémoire ont été subventionnées par la Communauté autogérée d'intérêt pour les sciences agronomiques, vétérinaires et forestières de la République Socialiste de Croatie. Les auteurs expriment leur gratitude à cet organisme dont l'aide a permis la réalisation de ce travail.

Résumé

L'influence des ions potassium sur l'effet stimulant des ions sodium dans l'absorption du calcium a été étudiée *in vitro* par la méthode des sacs préparés avec la muqueuse des différents compartiments de l'estomac de bœuf. La surface épithéliale de la muqueuse était toujours disposée à l'intérieur du sac. Les sacs étaient remplis avec une solution mixte contenant des chlorures de calcium, de sodium et de potassium. La concentration de calcium restait toujours fixe (10 mg/100 ml). La concentration de sodium variait : 102,5, 205 ou 1025 mg/100 ml. La concentration de potassium variait aussi : 90 ou 9 mg/100 ml. La face sous-muqueuse des sacs était plongée dans une solution de Tyrode. L'absorption était mesurée à l'aide d'une technique aux radioisotopes.

La présence des ions potassium dans les contenus des sacs, à la concentration physiologique de 90 mg/100 ml modifie l'effet stimulant des ions sodium sur l'absorption gastrique du calcium. Elle augmente l'absorption du calcium pour une concentration subnormale de sodium (102,5 mg/100 ml), dans tous les compartiments de l'estomac. Avec la concentration physiologique (205 mg/100 ml), elle renforce l'effet stimulant du sodium dans la caillette seulement ; dans la panse, elle la supprime, et, dans le feuillet, elle est sans influence. Avec la concentration supranormale de sodium (1025 mg/100 ml), la présence des ions potassium n'exerce aucune influence sur l'effet stimulant du sodium dans tous les compartiments.

Lorsque la concentration du potassium est réduite à 9 mg/100 ml, l'influence des ions potassium devient beaucoup plus faible, bien qu'elle soit encore présente.

Ces résultats mettent en évidence l'importance des interactions ioniques dans le tube digestif pour l'utilisation réelle du calcium à partir des fourrages et suppléments minéraux.

Références

- FORENBACHER S., JEŽIĆ B., ZDELAR F., VINOVRŠKI Z., CAREVIĆ O., 1967. O odnosima između procesa probave i mijene tvari u goveda pod uvjetima alimentarne indigestije, I : Poremetnje u probavi i mijeni tvari mliječnih goveda pod utjecajem neracionalne hranidbe uobičajenim krmivima. *Vet. Archiv, Zagreb*, **37**, 1-33.
- RAKO A., MITIN V., BISCAN J., TRANGER M., MIKULEC K., 1968. Utvrđivanje aktivnosti kalcija iz mineralnih smjesa u ovaca primjenom radioaktivnog Ca-45. *Vet. Arhiv, Zagreb*, **38**, 353-357.
- RENNER E., -1970. *Mathematisch-statistische Methoden in der praktischen Anwendung*. Paul Parey, Berlin.
- TIMET D., 1981. Istraživanja resorpcije kalcija u probavilu preživača, V : Interakcije pH i electrolitskog sastava u sadržaju buraga i sirišta. *Vet. Archiv, Zagreb*, **51**, 291-301.
- TIMET D., EMANOVIĆ D., HERAK M., KRALJEVIĆ P., MITIN V., 1978. The effect of sodium concentration in the contents on gastric absorption of calcium in cattle. *Vet. Arhiv, Zagreb*, **48**, S37-S38.
- TIMET D., EMANOVIĆ D., HERAK M., KRALJEVIĆ P., MITIN V., GRADINSKI-VRBANAC B., 1979. Consequences of poisoning of the mucous membrane with NaCN for the stimulative effect of sodium ions on gastric absorption of calcium in cattle. *Vet. Arhiv, Zagreb*, **49**, S69-S70.
- TIMET D., EMANOVIĆ D., HERAK M., KRALJEVIĆ P., MITIN V., 1981a. Rôle des ions sodium dans l'absorption gastrique du calcium chez les ruminants. *Ann. Rech. Vét.*, **12**, 47-56.
- TIMET D., EMANOVIĆ D., KRALJEVIĆ P., HERAK M., MITIN V., GRADINSKI-VRBANAC B., 1981b. The influence of phosphate upon the stimulative effect of sodium ions in the gastric absorption of calcium in cattle. *Vet. Arhiv, Zagreb*, **51**, S119-S121.