

# ÉCHANGE HYDRIQUE ET FATIGUE. - EFFETS DE L'INGESTION D'EAU SUR LA TACHYCARDIE ET SUR L'HYPERPNÉE CAUSÉES PAR LE TRAVAIL (\*).

**G. DI MACCO**

*Directeur de l'Institut de Pathologie générale  
de la R. Université de Catania*

## RÉSUMÉ DE L'A.

Parmi les phénomènes de l'échange qui se manifestent pendant le travail il faut considérer tout particulièrement le métabolisme de l'eau. Les recherches de CL. BERNARD, RANKE, COKE, ROGOZINSKI, SABBATANI, BUGLIA, MEYERHOF et ses Collaborateurs et d'autres AA., ont démontré, dans le muscle en activité, une augmentation plus ou moins accentuée, de la concentration moléculaire. L'hypertonie est particulièrement évidente lorsqu'on provoque la fatigue dans le muscle détaché de l'organisme. Comme CL. BERNARD l'a fait remarquer, l'augmentation, *in situ*, de la pression osmotique est efficacement contras-tée, entre certaines limites, par l'apport continuél d'eau de la part de la circulation du sang.

RANKE, COKE, SABBATANI, BUGLIA, en confirmant ces données, observèrent que les déplacements de la concentration moléculaire sont, pour ainsi dire, proportionnels à l'intensité et à la durée de la fatigue, mais que, dans des conditions d'intégrité de la circulation hémolympatique, à la fin du travail le muscle peut, quelquefois, présenter une concentration moléculaire inférieure à celle qui avait été enregistrée pendant le repos; cela dépend de ce qu'un peu de liquide est soustrait à la lymphe et au sang, tandis que des matériaux osmotiques actifs, qui se sont formés pendant la concentration, leur sont cédés.

Toutefois l'avidité que le muscle qui se contracte a pour l'eau, et qui a aussi été démontrée par SCHWARZ, qui étudia la vitesse d'im-

---

(\*) *Rivista di Patologia sperimentale*, XIV, 357-371, 1935 (XIII). Pour les tableaux des données et pour la bibliographie, voir la Note complète.

bibition de gastrocnémiens en repos ou en fonction, ne dépend pas uniquement des modifications osmotiques; d'autres facteurs interviennent dans la détermination de ce phénomène.

De nombreux expérimentateurs ont remarqué, comme LOEB, qu'indépendamment des variations du  $\Delta$  crioscopique, le degré d'imbibition du tissu musculaire est influencé par la concentration des ions hydrogène. Les modifications du pH, constatées dans le muscle en activité, représentent un facteur qui concourt à augmenter l'affinité du muscle même pour l'eau et qui constitue, pour cela, un élément non négligeable dans l'étude de l'équilibre hydro-salin pendant un travail qui intéresse plusieurs groupes musculaires.

A la quantité d'eau qui est continuellement soustraite au sang et à la lymphe par les muscles en activité, on doit aussi ajouter la quantité, encore plus remarquable, qui est éliminée par l'organisme en conséquence de l'hyperfonction réflexe de quelques organes.

A ce propos, on connaît les modifications fonctionnelles de l'appareil respiratoire, de l'appareil circulatoire, de la *perspiratio insensibilis* et de la *perspiratio sensibilis* qui portent à une réduction plus ou moins intense des réserves hydriques de l'organisme, comme il résulte des observations de JÄGER et des recherches de WOLPERT, ZUNTZ et SCHUMBURG, ATWATER, CONHEIM et KREGLINGER, GALEOTTI et SIGNORELLI, LANGLOIS et BOISSAQUET, et, récemment, de celles de MOOG et SCHWIEDER, CASSINIS et ADILARDI, et d'autres AA.

Dans la fatigue, continuée au delà de certaines limites, il faut donc s'attendre à un degré plus ou moins élevé d'épaississement du sang, causé par la perte intense d'eau. FANO et BALDI, en effet, ont vu que le résidu sec du sang augmente après une fatigue considérable; BUGLIA, moyennant des déterminations directes de la pression osmotique du sérum, constata une hypertonie dans les chiens fatigués par stimulations électriques. PUGLIESE d'abord, JAPPELLI et d'ERRICO ensuite, virent que la lymphe, recueillie du conduit brachial du chien pendant la fatigue, diminue graduellement et présente une concentration osmotique élevée.

Il est certain que dans le travail musculaire, intense et prolongé, le sang s'épaissit plus ou moins; on peut mettre en évidence cette épaississement avec diverses méthodes, comme on l'a fait dans de nombreuses recherches sur des types divers d'exercice physique (ZUNTZ, LOEWY, MÜLLER et CASPARI, GERHARTZ, VIALE, CASSINIS, CHIATEL-

LINO et MARGARIA, CASSINIS et BRACALONI, CASO, PIGNATARI et tant d'autres AA.

De ce que nous venons d'exposer brièvement il résulte évident que, pendant l'activité musculaire, le métabolisme hydrique de l'individu subit des déplacements importants, qui, en dernière analyse, portent à une réduction des réserves d'eau. Il s'en suit que le besoin de liquide augmente fortement et puisque, comme on sait, la normalité des fonctions cellulaires et tissulaires est conditionnée à des états définis d'équilibre hydro-salin du milieu, il est naturel de supposer que toute variation, en un sens ou dans l'autre, des disponibilités hydriques de l'organisme doit influencer quantitativement, et peut-être aussi qualitativement, les manifestations réactives fonctionnelles et biochimiques caractéristiques du cadre physiopathologique de la fatigue.

Les recherches sur l'échange de l'eau pendant les exercices physiques sont, toutefois, limitées; elles sont relatives à des observations recueillies dans des conditions expérimentales disparates, les résultats desquelles ne portent pas à des conclusions sûres, susceptibles de corollaires pratiques. Il suffit de rappeler que, tandis que VIALE attribue la genèse de la fatigue à l'épuisement des réserves hydriques de l'organisme, causé par l'accumulation, dans le sang, de poisons produits pendant le travail et agissant surtout à travers des perturbations des mécanismes thermo-régulateurs, VOGEL pense que, pour obtenir le maximum de rendement dans les exercices physiques, il faut ingérer des quantités limitées de liquide, parce que l'administration d'eau augmente inutilement le travail du système circulatoire et celui d'autres appareils. Par contre d'autres AA. sont favorables à l'administration de boissons salines. (Voir MAGLIOZZI).

Ces prémisses montrent à l'évidence l'opportunité de recherches sur les variations de l'équilibre hydro-salin, considéré comme cause de perturbations dans le décours des manifestations fonctionnelles réactives qui se manifestent pendant le surménagement.

Les expériences ont été faites sur des sujets dans lesquels l'entité des réserves hydriques de l'organisme a été considérablement augmentée, moyennant l'administration d'eau; on a étudié le comportement de l'activité cardiaque et de l'activité respiratoire, en déterminant l'intensité et la durée de la tachycardie et de l'hyperpnée, causées par le travail. Après on a suivi le comportement du rétablissement et on a pris en considération le rendement du travail.

*Expériences.* – Avec les procédés décrits pour d'autres recherches on a déterminé la fatigue moyennant la course avec un maximum de vitesse, sur une piste sablonneuse de 100 m. (DI MACCO <sup>(1)</sup>).

Chaque individu fit sa course, une fois, 1 h. après l'ingestion d'eau (cc/Kg. 10); une autre fois, pour contrôle, sans aucune administration de liquide. Les valeurs du rythme cardiaque et du rythme respiratoire ont été déterminées, dans les deux expériences, au commencement de l'expérience, et avant et après la course, et on a continué l'observation jusqu'au rétablissement des conditions initiales.

On a tenu compte non seulement des données relatives au pouls et à la respiration, mais aussi de l'âge, du poids et de la taille des animaux à expérience.

La température du milieu, pendant les expériences faites dans les mois d'août et de septembre de 10 hh. à 13 hh., a oscillé entre 26-30° C.

On a eu soin que, pour chaque sujet, les épreuves eussent lieu, autant que possible, dans les mêmes conditions.

Pour les Tableaux numériques, relatifs aux expériences, voir la note complète.

*Effets de l'ingestion d'eau sur le rythme cardiaque.* – Si nous examinons les valeurs obtenues dans chaque expérience, nous remarquons qu'à la suite de l'administration d'eau (cc/Kg 10), le rythme cardiaque subit une raréfaction. En effet, le nombre des pulsations, enregistré avant l'administration d'eau et 1 h. après, varie comme dans le tableau ci après:

Expérience	Nombre des pulsations par m'		
	au commencement	après H <sub>2</sub> O	variation
I	80	78	— 2
II	80	74	— 6
III	74	60	— 14
IV	72	72	0
V	80	72	— 8
VI	72	66	— 6
VII	72	60	— 12
VIII	80	80	0
IX	84	80	— 4
X	80	72	— 8

(<sup>1</sup>) "Sui fattori capaci di modificare la reattività funzionale nell'esercizio fisico. Alcalosi e ritmo cardiaco e respiratorio," (*Rivista di Patologia sperimentale*, XI, 241, 1933). – Et "Tono del simpatico e ritmo cardiaco nell'esercizio fisico," (*Rivista sanitaria Sicil.*, XXI, 1695, 1933).

De ces valeurs il résulte que dans la plupart des cas - 8 sur 10 - on a eu une nette diminution du nombre des pulsations.

*Tachycardie causée par le travail.* - A la suite de la course le rythme cardiaque augmente, tant dans les expériences de contrôle, que dans celles qui ont été faites après administration d'eau. Dans le tableau suivant nous trouvons enregistrées les valeurs les plus élevées de la tachycardie, tout de suite après la course.

Expérience	Nombre des pulsations par m'		
	p. contrôle	p. avec H <sub>2</sub> O	différence
I	132	148	+ 16
II	164	148	- 16
III	152	148	- 4
IV	140	136	- 4
V	164	148	- 16
VI	140	125	- 15
VII	140	140	0
VIII	140	140	+ 8
IX	160	128	- 32
X	130	124	- 6

Il résulte donc que: dans une expér. (VII<sup>ième</sup>), après ingestion d'eau, la tachycardie produite, par le travail, n'a pas varié d'intensité, relativement à l'expér. de contrôle; en 2 expér. (I<sup>ière</sup> et VIII<sup>ième</sup>) elle a été un peu plus accentuée, puisque le rythme, qui dans des conditions normales, est accéléré, en moyenne, jusqu'à 136, dans l'expér. avec injection d'eau est arrivé à 148 pulsations par minute. Dans les autres expér., en 7 cas sur 10, la tachycardie, produite par le travail fait après administration d'eau, est sensiblement moins accentuée, comparativement aux expériences de contrôle.

Une heure après l'ingestion d'eau (cc/Kg 10), la tachycardie consécutive à un travail intense, mais de courte durée, est toutefois moins accentuée que celle qui se manifeste, à parité de conditions, dans le sujet qui n'a pas bu.

*Temps nécessaire pour le rétablissement du pouls.* - Si nous considérons la durée de la tachycardie dans chaque expérience, nous remarquons que, dans les expériences avec ingestion d'eau, les valeurs initiales sont atteintes plus rapidement que dans les expér. de contrôle.

A parité de conditions, la tachycardie due au travail dure donc

Expérience	temps nécessaire pour le rétablissement du pouls en m'	
	p. contrôle	p. avec ingestion d'eau
I	40	15
II	20	10
III	25	3
IV	30	20
V	15	4
VI	15	10
VII	25	2
VIII	40	25
IX	15	15
X	25	20

sensiblement moins dans les expér. dans lesquelles, avant la course, on a administré de l'eau.

Dans la plupart des sujets la tachycardie, causée par le travail, immédiatement après la course, passe graduellement du niveau le plus élevé aux valeurs normales avec une ligne régulière et continue sans oscillations. Dans quelques cas on a observé, au contraire, que le rythme ne décroît pas d'une manière uniforme; à un certain point – le plus souvent après 2'-3' après la fin de la course – la ligne baisse rapidement pour s'élever de nouveau et reprendre ensuite la descente graduelle vers les valeurs initiales. Ce fait s'est vérifié en 4 sujets, comme il résulte des valeurs du rythme cardiaque que nous rapportons ci après: (pour faciliter la comparaison on a considéré = à 100 le nombre des pulsations constaté à la fin de la course et on a calculé en proportion les nombres qu'on a enregistrées ensuite.

m' après la course	Nombre des pulsations pra m'					
	1	2	3	4	5	10
Expérience I	100	82	82	91	85	82
„ IV	100	82	74	80	72	60
„ VII	100	80	89	80	67	63
„ IX	100	70	55	62	65	60

Si nous examinons les valeurs obtenues dans les mêmes sujets dans les expér. dans lesquelles la course a été précédée par l'ingestion d'eau, nous remarquons que le phénomène se présente de nouveau plus accentué; de plus il se manifeste en 2 autres individus (expér. VI et X) dans lesquelles les épreuves de contrôle ont offert un comportement régulier.

Il résulte donc que, dans les phases décroissantes de la tachycar-

m' après la course	Nombre des pulsations par m'					
	1	2	3	4	5	10
Expérience I	100	67	48	67	67	55
„ IV	100	80	65	65	71	62
„ VII	100	46	45	40	45	45
„ IX	100	66	64	57	62	69
„ VI	100	73	54	56	58	54
„ X	100	68	48	58	74	80

die causée par le travail, l'administration préalable d'eau accentue l'apparition d'oscillations du rythme cardiaque, en un sens ou dans l'autre, dans quelques individus et la favorise en d'autres sujets.

*Effets de l'ingestion d'eau sur l'hyperpnée.* - L'activité rythmique respiratoire ne semble pas modifiée par l'ingestion d'eau (cc/Kg 10). Dans la moitié des sujets l'hyperpnée, causée par le travail, est de la même intensité dans les expér. de contrôle et dans celles où il y a eu ingestion d'eau. Dans ces dernières, en 2 cas sur 10, on a remarqué une diminution (expér. III et VIII); en 3 cas (expér. I, VI et X) il y a eu augmentation.

Dans l'ensemble, les modifications causées par le travail sur l'activité respiratoire, après l'administration d'eau, ne sont pas remarquables et ne sont pas toutes dans le même sens: on remarque une légère tendance, non constante, à une accentuation de l'hyperpnée.

Le temps nécessaire pour le rétablissement de la respiration, pour 2 sujets (expér. II et IX), est identique dans les deux séries, d'épreuves: pour 3 (expér. III, VI et VIII), il est de plus courte durée après l'ingestion d'eau. Dans les autres cas le rythme respiratoire, accéléré à la suite de la course, retourne normal avec un certain retard, comme il résulte des valeurs moyennes et des valeurs extrêmes rapportées ci après.

Expér. de contrôle	m' 14	(10-25)
Expér. avec administration d'eau	m' 21	(15-30)

Le retour aux valeurs initiales du rythme respiratoire, accéléré par la course, se présente entravé, quoique non constamment, par l'administration préalable d'eau (cc/Kg 10).

Analogiquement à ce qu'on a fait pour le rythme cardiaque, on a recherché, dans la phase descendante de la courbe du rythme respiratoire, la présence de déviations éventuelles. Dans des conditions nor-

males, dans tous les cas, l'hyperpnée dérivée du travail, décroît graduellement et uniformément vers les valeurs initiales. Dans les expériences faites après administration d'eau, dans la phase décroissante de la tachypnée causée par la fatigue, sont, au contraire, bien évidentes, quoique plus ou moins accentuées, les oscillations du rythme dans des proportions qu'on peut relever des chiffres rapportés ci après. Pour faciliter la comparaison on a considéré = à 100 le nombre des actes respiratoires enregistrés à la fin de la course, calculant, en proportions, les valeurs obtenues successivement:

<i>m' après la course</i>	1	2	3	4	5	10
	<i>Respiration par m'</i>					
Expériences I	100	78	66	89	89	78
„ II	100	93	80	80	73	80
„ III	100	93	75	81	75	62
„ VI	100	72	55	66	61	55
„ IX	100	73	63	72	63	65

Comme la tachycardie, dans quelques individus l'hyperpnée, causée par le travail, ne décroît pas uniformément vers les valeurs primitives de repos, mais, en conséquence de l'ingestion d'eau, faite avant la fatigue, elle présente des oscillations, plus ou moins accentuées, du rythme.

*Durée de la course.* - Si nous examinons, pour chaque sujet, le temps employé à parcourir 100 m, en un cas (expér. X) nous ne relevons aucune différence entre expér. de contrôle et expér. avec ingestion d'eau; en 4 sujets (II, V, VI et IX), après l'administration d'eau, la course dure moins que dans les conditions normales; dans la moitié des cas, le temps employé a été plus long, comme il résulte des valeurs moyennes et des valeurs extrêmes que nous rapportons ci après:

Expér. de contrôle	m' 17,90	(16,5-19)
Expér. avec ingestion d'eau	m' 18,04	(17,5-19,5)

L'administration préalable d'eau, aux doses indiquées et avec le type d'effort choisi, tend pourtant à agir en sens défavorable sur le rendement du travail.

*Conclusions.* - De l'ensemble des recherches qu'on a faites il résulte que le rythme cardiaque est ralenti à la suite de l'ingestion d'eau (cc/Kg 10); que dans ces conditions la tachycardie, qui se manifeste après un travail intense, mais de courte durée, est moins marquée; que

le rétablissement des valeurs initiales a lieu avec anticipation, et, enfin, que les oscillations du rythme, remarquées dans quelques sujets pendant la phase décroissante de la tachycardie, résultent accentuées.

L'hyperpnée, due au travail, montre une tendance à des valeurs plus élevées et dure plus longtemps. En quelques sujets, dans sa phase descendante, se manifestent des oscillations du rythme respiratoire qui se comportent comme celles qu'on a remarquées pour le pouls.

Après l'administration d'eau la durée de la course résulte légèrement prolongée dans la moitié des expériences.

La recherche du mécanisme avec lequel ont origine les variations du rythme cardiaque et du rythme respiratoire, constatées dans les expériences faites sous l'influence de la quantité d'eau, mérite qu'on parle, même d'une manière sommaire, des modifications de la circulation et de la respiration, décrites à la suite de l'ingestion de considérables quantités d'eau.

On sait que, dans les conditions susdites, on a le passage de masses plus ou moins grandes de liquide dans la circulation, ce qui augmente le volume du sang - MARX, DRESEL et LEITNER, LEVI et BUCCIANTE, HERXHEIMER et d'autres AA. - et qu'il s'établit un état plus ou moins marqué d'hydrémie - SIEBECK, RÖMINGER, DANIEL et HOGGLER, GREENE et ROWNTREE, AUGUSTE, PELLEGRINI, etc.. Toutefois, moyennant l'intervention de moyens opportuns de régulation, la pression sanguine ne subit aucun déplacement puisque le lit circulatoire, à travers une graduelle vaso-dilatation, s'adapte à l'augmentation volumétrique du sang, pourvu que les variations ne soient pas brusques.

En effet, même dans la transfusion endo-veineuse de grandes masses de liquide, on n'a pas d'hypertension, si l'injection a été faite lentement [DI MACCO <sup>(1)</sup>].

Ces phénomènes de régulation s'accomplissent au moyen du système neuro-végétatif qui, lorsque la masse sanguine augmente, pourvoit à régler convenablement le degré de relâchement des vaso-constricteurs en rapport avec la quantité de liquide pénétré dans le système vasal; de manière que, après l'administration d'une quantité remarquable d'eau, le tonus neuro-végétatif doit résulter modifié dans le sens d'une dépression du sympathique vaso-constricteur, tandis que l'exci-

(<sup>1</sup>) " Modificazioni della pressione arteriosa e della respirazione nelle trasfusioni per azione dell'alcool etilico „ (*Rivista di Patologia sperimentale*, I, 59, 1926).

tabilité du para-sympathique vaso-dilatateur résulte augmentée proportionnellement,

Ces variations du tonus permettent d'interpréter d'une manière assez satisfaisante le ralentissement qu'on a constaté du rythme cardiaque, pendant le repos, une heure après l'ingestion d'eau, dans tous les sujets qu'on a examinés.

Dans ces conditions de réactivité modifiée des centres neuro-végétatifs, en conséquence de l'augmentation volumétrique du sang, il est naturel qu'on ait une modification du cadre réactif fonctionnel qui se produit dans le fatigue, au moyen du système neuro-végétatif, ayant surtout les caractéristiques de l'excitation de l'ortosympathique (hyperadrénalinémie, tachycardie, hyperpnée, hypertension, hyperglycémie, etc.).

A ce propos DI MACCO et MAGLIOZZI avaient déjà vu qu'à la suite du traitement préalable avec des poisons sympathico-inhibiteurs, la réaction du cœur, de la respiration et de la pression artérielle au travail musculaire, est moins intense, tandis que les poisons ortosympathico-excitateurs déterminent l'exagération des mêmes réactions fonctionnelles.

On doit donc penser que l'atténuation de la tachycardie, qu'on a constatée dans les expériences précédentes, dans les épreuves faites avec ingestion d'eau, dépend de ce que la réactivité du système neuro-végétatif a été modifiée dans le sens d'une dépression du tonus ortosympathique, avec augmentation correspondante de l'excitabilité parasympathique.

Dans cet ordre d'idées, les variations qu'on a observées relativement à la fréquence et à l'accentuation des oscillations du rythme cardiaque et du rythme respiratoire, pendant la période de décroissance de la tachycardie et de l'hyperpnée dues au travail, dans quelques-uns des sujets qu'on a examinés, se présentent comme des manifestations de l'instabilité neuro-végétative, pour la prépondérance alternée du tonus de l'ortosympathique et du parasympathique dans les phénomènes de régulation, à travers lesquels l'équilibre réactif et fonctionnel tend à se rétablir.

En conclusion, l'ingestion préalable d'eau modifierait, dans la fatigue, le décours de la réaction de la circulation et de la respiration, à travers le système neuro-végétatif; la dépression du tonus ortosympathique atténuerait l'intensité des phénomènes initiaux de réaction qui se manifestent avec les caractéristiques de l'excitation de l'ortosympathique.

---