

Tableau I. Paramètres de variabilité sinusale et leur signification.

Analyse spectrale (reflet vago-sympathique)	Analyse temporelle (équivalence spectrale)
Très basses fréquences (VLF): 0,0033 - 0,04 Hz (thermorégulation et activité vasomotrice). Basses fréquences (LF): 0,04 - 0,15 Hz (activité sympathique). Hautes fréquences (HF): 0,15-0,4 Hz (activité parasympathique). Rapport HF/LF: balance sympathique.	SDNN, ou écart-type des RR: densité spectrale totale. SDANN 5: écart-type sur 5 mn (LF). PNN 50: % de triplets avec > 50 ms de différence entre 2 RR (HF).

diminution concerne l'ensemble des indices de VS globaux (SDNN =105 ms vs 104 ms; PNN50 =23,8% vs 16,8%), activité orthosympathique (LF =2 048 ms² vs 1 473 ms²), activité sympathique (HF =680 ms² vs 487 ms²), et balance sympathique témoignant d'une baisse plus marquée du tonus parasympathique (HF/LF =0,34 vs 0,29).

2. Immersion à 10 °C.

Il existe également une diminution des paramètres de VS entre la nuit précédant l'immersion et la nuit suivante, atteignant cette fois le seuil de significativité: SDNN =120 ms vs 103 ms (p =0,05); PNN50 =27,2% vs 16,1% (p <0,05); LF =2 495 ms² vs 1 430 ms² (p <0,05); HF =963 ms² vs 505 ms² (p <0,05); HF/LF =0,37 vs 0,32 (p =ns).

B) ÉVOLUTION DE LA VS A U COURS DE L'IMMERSION (FIG. 4).

L'analyse de la VS durant l'immersion montre, entre le début et la fin de la plongée, l'existence d'une majoration des indices avec augmentation prépondérante du tonus parasympathique.

1. Immersion à 18 °C.

SDNN =91 ms vs 105 ms (p =0,03); PNN50 =15,4% vs 24,3% (p =ns); LF =766 ms² vs 2 953 ms² (p =ns); HF =5 335 ms² vs 1 037 ms² (p =ns); HF/LF =0,37 vs 0,44 (p =ns), au début de l'immersion versus à la fin de l'immersion respectivement.

2. Immersion à 10 °C.

SDNN =108 ms vs 115ms (p =ns); PNN50 =25,0% vs 33,6% (p =0,01); LF =3 356 ms² vs 4 257 ms² (p =ns); HF =1 472 ms² vs 2 344 ms² (p =ns); HF/LF =0,48 vs 0,56 (p =ns), au début de l'immersion versus à la fin de l'immersion respectivement.

C. INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE D'IMMERSION (FIG. 5).

L'altération du tonus parasympathique la nuit suivant l'immersion est plus importante à 10° qu'à 18°C: HF =505 vs 487 ms² (p <0,001); HF/LF =0,29 vs 0,32 (p =ns).

IV. DISCUSSION.

Il s'agit à notre connaissance de la première expérimentation d'immersion totale, avec tête sous l'eau des sujets. Cette étude a nécessité la conception et la réalisation d'un bassin spécifique par l'Institut de médecine navale du SSA. La tête des plongeurs était en affleurement juste sous le niveau d'eau, et la ventilation comportait une pression inspiratoire positive qui compensait la différence de pression due à l'immersion.

La durée de l'immersion et les températures étudiées reflètent les conditions réelles opérationnelles des nageurs de combat. Elles ont nécessité une surveillance continue de la température centrale, qui s'abaissait à 36,24 ±0,11 °C et 36,18 ±0,11 °C lors des immersions à 18° et 10° respectivement (p =ns entre les deux températures d'immersion). Un monitoring cardio-respiratoire ainsi que l'enregistrement de la VS a été permis grâce

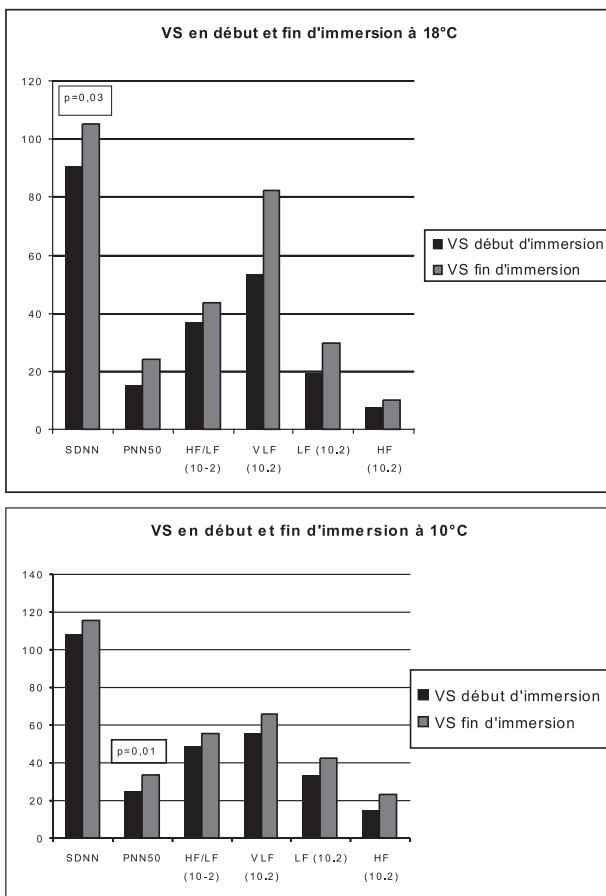


Figure 4. Évolution de la VS au cours de l'immersion.

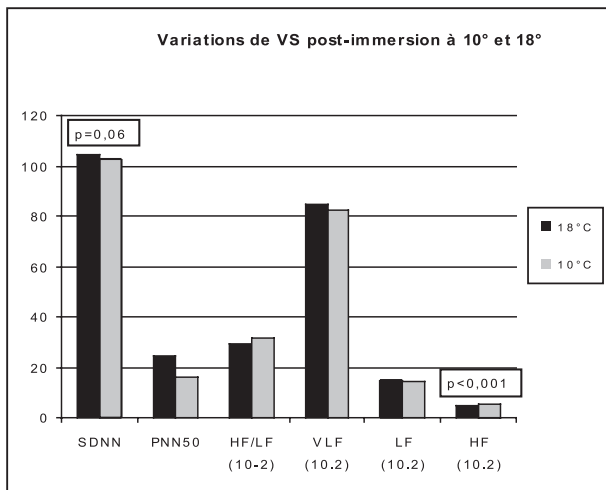


Figure 5. Différences de variabilité sinusale après immersion selon la température. Analyse multivariée (test ANOVA 1 facteur).

à l'adaptation des combinaisons permettant le passage des fils, capteurs et sondes.

Concernant l'enregistrement Holter-ECG, il s'agit également de la première analyse de la variabilité sinusale en continu pendant une immersion totale.

Nous retrouvons une majoration de la VS au cours de l'immersion, avec prépondérance de la majoration parasympathique.

Ces données ont déjà été notées par différentes équipes lors de la soumission des sujets à un stress physique (5, 7-9). Il est bien sûr difficile de faire la part du stress psychique engendrée par une immersion de cette durée à des températures particulièrement basses. Dishman et al. (11) ont rapporté l'influence inverse du stress psychique préalable sur les variations du tonus parasympathique. La connaissance de la température de plongée avant l'immersion (cinq plongeurs commençant par une immersion à 18° et cinq par une température de 10° puis inversement) a certainement joué un rôle dans la modulation de la composante HF lors de l'immersion. Ceci peut expliquer, en partie, l'incrément paradoxalement moins important des basses fréquences durant l'immersion à 10°.

Les travaux précédemment conduits lors d'immersion tête hors de l'eau sont également superposables (12-17). Miwa et al. décrivent une diminution des HF au repos après trois jours d'immersion sèche (13), et retrouvent tout comme dans notre travail une majoration du parasympathique au cours d'une immersion aux épaules (14). Ces modifications au cours de l'immersion sont confirmées par les travaux de Seps et al. qui les rapprochent de celles relevées en microgravité (15).

Cette activation parasympathique en cours d'immersion peut être en partie expliquée par les altérations hémodynamiques dues à l'immersion (avec notamment élévation des pressions de perfusion thoraciques), comme l'a montré l'équipe de Schipler (16). L'influence de la température de l'eau semble néanmoins importante dans ces modifications survenant pendant l'immersion,

comme l'ont montré Mourou et al. chez des plongeurs non totalement immergés à neutralité thermique puis en eau fraîche (17). Nous mesurons d'ailleurs dans notre expérimentation une sécrétion de catécholamines plus importante à 10° tout au long de l'immersion, avec un pic en milieu d'immersion plus marqué à 10° qu'à 18° (adrénaline : 80,4 vs 48,8 pg/ml, $p < 0,05$; noradrénaline : 1 752 vs 1 020 pg/ml, $p < 0,05$). L'activation parasympathique pendant la plongée pourrait ainsi également être la conséquence d'un à-coup vagal secondaire au stress thermique.

Les travaux de l'équipe stéphanoise (4-6) ont bien montré l'influence de la fatigue physique sur la VS. Bien que réalisés dans des conditions différentes puisque étudiant les conséquences d'un entraînement intensif, ils peuvent faire émettre l'hypothèse que les modifications prédominantes sur le parasympathique la nuit suivant l'immersion chez nos nageurs de combat, témoignent d'une fatigue physique qui persiste au moins jusqu'au lendemain de la plongée. D'autres travaux, incluant des mesures de paramètres de forces physiques par exemple, seront néanmoins nécessaires pour rattacher ces modifications de VS à une fatigue physique.

Le rôle de la température dans ce stress physique paraît en revanche évident, et est confirmé dans notre étude par une variation de la VS plus importante à 10° qu'à 18°C (avec baisse de HF > LF). D'autres travaux issus de cette expérimentation et en cours de publication mettent en évidence une déshydratation secondaire à la plongée, persistant le lendemain, pouvant contribuer à la majoration de cette fatigue physique.

A) LIMITES DE L'ÉTUDE.

La taille limitée de notre effectif, conséquence de la lourdeur de l'expérimentation, explique certainement la non significativité statistique des résultats à 18°.

Les conditions de stress différentes (ordre de passage et températures connues avant l'immersion) ont un rôle sur le tonus vago-sympathique. Des raisons techniques ne rendaient pas possible la modulation immédiate de la température du bassin, imposant le passage en deux groupes de températures prédéfinies des sujets.

L'absence de corrélation à des tests d'exercice ne permet pas d'affirmer formellement la fatigue physique des plongeurs.

V. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.

De cette première expérience d'analyse de la variabilité sinusale chez des sujets soumis à une immersion complète en eau froide, on retiendra, comme dans les travaux précédemment réalisés (immersion tête hors d'eau) une majoration du tonus parasympathique au cours de l'immersion, et une diminution des paramètres de variabilité sinusale au cours de l'immersion.

Ces résultats pourraient être liés d'une fatigue physique corrélée à la contrainte thermique, présente lors de la récupération nocturne suivante ; des travaux

complémentaires sont nécessaires pour étayer cette hypothèse. Ils peuvent témoigner d'une diminution des capacités opérationnelles des nageurs de combat, apparaissant dès la fin de l'immersion, et persistant au moins jusqu'au lendemain de la plongée.

La confection et l'essai de tenues à réchauffage actif sont une voie de recherche afin d'optimiser ces performances opérationnelles. Dans l'attente, il faut insister sur l'importance de la déshydratation après la plongée.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Coumel P, Maison Blanche P, Catuli D. Heart rate and heart variability in young adult. *J Cardiovasc Electrophysiol* 1994 ; 5 : 899-911.
 2. Hedelin R, Kentta G, Wiklund U, Bjerle P, Henriksson-Larsen K. Short-term overtraining : effects on performance, circulatory responses, and heart rate variability. *Med Sci Sports Exerc* 2000 ; 32 (8) : 1480-4.
 3. Lehmann M, Foster C, Dickhuth H-H, Gastmann U. Autonomic imbalance hypothesis and overtraining syndrome. *Med Science Sport Exerc* 1998 ; 30 (7) : 1140-5.
 4. Pichot V, Bourin E, Roche F, Garet M, Gaspoz JM, Duverney D et al. Quantification of cumulated physical fatigue at the workplace. *Pflugers Arch* 2002 ; 445 (2) : 267-72.
 5. Pichot V, Busso T, Roche F, Garet M, Costes F, Duverney D et al. Autonomic adaptations to intensive and overload training periods : a laboratory study. *Med Sci Sports Exerc* 2002 ; 34 (10) : 1660-6.
 6. Pichot V, Roche F, Gaspoz JM, Enjolras F, Antoniadis A, Minière P et al. Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 2000 ; 32 (7) : 1229-36.
 7. Portier H, Louisy F, Laude D, Berthelot M, Guezennec CY. Intense endurance training on heart rate and blood pressure variability in runners. *Med Sci Sports Exerc* 2001 ; 33 (7) : 1120-5.
 8. Jouanin JC, Dussault C, Peres M, Satabin P, Pierard C, Guezennec CY. Analysis of heart rate variability after a ranger training course. *Mil Med*. 2004 aug ; 169 (8) : 583-7.
 9. Cellarier G. Étude de la variabilité sinusale en récupération chez les nageurs de combat. Recherche de facteurs prédictifs de surentraînement. Mémoire de DEA, Université Aix-Marseille 2, 2003.
 10. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation* 1996 ; 93 : 1043-65.
 11. Dishman RK, Nakamura Y, Garcia ME, Thompson RW, Dunn AL, Blair SN. Heart rate variability, trait anxiety, and perceived stress among physically fit men and women. *Int J Psychophysiology* 2000 ; 37 : 121-33.
 12. Perini R, Veicsteinas A. Heart rate variability and autonomic activity at rest and during exercise in various physiological conditions. *Eur J Appl Physiol* 2003 ; 90 (3-4) : 317-25.
 13. Miwa C, Sugiyama Y, Iwase S, Mano T, Ohira Y, Grigoriev A et al. Effects of three days of dry immersion on heart rate and blood pressure variabilities during head-up tilting in humans. *Environ Med* 1997 ; 41 (2) : 135-7.
 14. Miwa C, Sugiyama Y, Mano T, Iwase S, Matsukawa T. Spectral characteristics of heart rate and blood pressure variabilities during head-out water immersion. *Environ Med* 1996 ; 40 (1) : 91-4.
 15. Seps B, Beckers F, Aubert AE. Head out of water immersion as a simulation study : an heart rate variability study. *J Gravit Physiol* 2002 ; 9 (1) : 95-6.
 16. Schipke JD, Pelzer M. Effect of immersion, submersion, and scuba diving on heart rate variability. *Br J Sports Med* 2001 ; 35 (3) : 174-80.
 17. Mourot L, Gandelin E, Bouhaddi M, Cappelle S, Wolf JP, Regnard J. Régulation neurovégétative des adaptations posturales cardiovasculaires : effets de l'immersion à neutralité thermique et en eau fraîche. *Arch Mal Cœur* 2004 ; 97 (4) : 413.
-