

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur

Durée de l'épreuve 1h30 - coefficient 4

1 La narcose en plongée à l'air : (7 points)

La narcose se limite le plus souvent à un simple incident. Pourtant, dans la mesure où elle altère la lucidité du plongeur, il faut se pencher un peu plus sur ses manifestations.

- a. Décrivez les effets physiologiques de l'azote sur le fonctionnement du système nerveux.
- b. Décrivez les modifications comportementales et sensorielles du plongeur affecté.
- c. Listez les facteurs favorisants.
- d. Comment réagir, comment prévenir la narcose ?
- e. Etablissez les principes généraux d'organisation de la plongée profonde.

2 La diurèse en plongée : (6 points)

1. Décrivez les deux mécanismes physiologiques mis en cause qui expliquent cette « furieuse envie » qui suit nos plongées
2. Listez les conséquences physiologiques de cette forte production d'urine.
3. Comment sensibilisez-vous vos stagiaires pédagogiques à cet aspect particulier de la plongée ?

3 L'entraînement au mannequin du Niveau IV (7 points)

Au cours d'un stage niveau 4 de deux semaines en mer, un MF1 vous demande de l'aider à mettre en place une progression spécifique pour le travail de l'apnée de l'épreuve du mannequin niveau 4.

- a. Quelles sont les spécificités physiologiques de ce type d'apnée ?
- b. Quels sont les risques et les précautions à prendre pour cette épreuve ?
- c. Proposez vos axes d'entraînement au cours du stage pour cette épreuve.

Anatomie, physiologie et physiopathologie du plongeur

Durée de l'épreuve 1h30 - coefficient 4

Éléments de correction

2 La narcose en plongée à l'air : (7 points)

La narcose se limite le plus souvent à un simple incident. Pourtant, dans la mesure où elle altère la lucidité du plongeur, il faut se pencher un peu plus sur ses manifestations.

f. Décrivez les effets physiologiques de l'azote sur le fonctionnement du système nerveux. (2 points)

La narcose à l'azote, aussi nommée ivresse des profondeurs, est due à l'excès d'azote et agit sur le système nerveux en entraînant des troubles du comportement. Les gaz inertes perturbent la transmission des messages nerveux dans les neurones cérébraux, par action sur les neurotransmetteurs, avec pour conséquence le ralentissement de l'activité motrice et des perturbations de la réflexion

Une grande partie des narcoses surviennent lors de la plongée profonde. La pression environnante augmentant, la pression partielle de l'azote augmente en application de la loi de Dalton.

Les gaz à effets narcotiques sont biochimiquement inertes : ils n'interagissent pas en modifiant la chimie cellulaire. Ils ont, a priori, un simple effet mécanique.

Deux mécanismes sont suspects, résultant à chaque fois en une modification de la perméabilité de la membrane cellulaire à certains composants :

- l'hypothèse lipidique : les gaz se diffuseraient dans la double couche de lipides formant la membrane cellulaire, la distendant, avec pour conséquence une perturbation de la libération des neurotransmetteurs et une perturbation de la propagation du message électrique
- l'hypothèse protéique, suspectée dans les années 60 : les gaz interagiraient directement sur les protéines de la membrane cellulaire, par action sur les protéines réceptrices des neurotransmetteurs dans certaines synapses du SN central (modification de la transmission synaptique)

g. Décrivez les modifications comportementales et sensorielles du plongeur affecté. (1 point)

La narcose entraîne des troubles du comportement qui diffèrent d'un individu à l'autre. La sensibilité par rapport à la narcose n'est pas la même pour tout le monde, ni la même d'un jour sur l'autre. Dans les effets de la narcose on peut citer:

- euphorie,
- angoisse,
- retournement sur soi,
- discours intérieur,
- troubles de la vision et notamment vision à *effet tunnel* (le plongeur a l'impression de voir les choses au bout d'un tunnel),
- disparition de la notion de durée,
- sensation de dialogue intérieur, de solitude,
- lecture répétée des instruments de plongée sans interprétation correcte
- retard de réaction, signes répétitifs.
- troubles sensoriels : impression de déséquilibre, hyperréflexivité, acouphènes,
- troubles moteurs : incoordination motrice, syndrome cérébelleux,

A noter que les sujets les plus sensibles peuvent ressentir les effets de la narcose dès 30/40 mètres. En revanche, à partir de 60 m, *tous* les plongeurs sont narcosés y compris ceux qui, à cause de cette même narcose, prétendent le contraire et ne s'en rendent pas compte.

h. Listez les facteurs favorisants. (1 point)

Certains facteurs sont considérés comme aggravants : froid, consommation d'alcool, drogue, stress, fatigue, embonpoint, efforts,

i. Comment réagir, comment prévenir la narcose ? (1 point)

La seule prévention effective (hors plongée aux mélanges) est la limitation de la profondeur de plongée à l'espace médian, voire à 30m .

L'absence de facteurs favorisants et l'accoutumance progressive à la profondeur permettent de prévenir ou limiter l'apparition et les effets de la narcose.

L'attitude à avoir face à un plongeur victime d'une narcose est de le faire remonter à une profondeur moindre pour faire diminuer la pression partielle de l'azote. Les effets se dissipent assez rapidement. Une narcose peut provoquer une amnésie et certains plongeurs ne se souviennent pas du comportement qu'ils ont pu avoir au moment de la narcose.

L'organisme s'accoutume aux effets de l'azote. Des plongeurs ayant l'habitude de descendre à des profondeurs élevées voient les effets de la narcose diminuer.

j. Etablissez les principes généraux d'organisation de la plongée profonde. (2 points)

Etre en forme physiquement et psychologiquement :

Pour envisager une profonde, il faut impérativement être en bonne condition, physique et psychique. La fatigue, le stress ou une longue période sans plonger sont des facteurs favorisant l'apparition d'une narcose. En conséquence, pas de plongée profonde après un voyage ou en début de séjour, après une nuit agitée où en période de soucis.

Composition de la palanquée :

Plus la profondeur est élevée, plus on doit avoir confiance en son ou ses compagnons. Un plongeur avec lequel on plonge depuis longtemps, dont on connaît le niveau et les réactions est un élément hautement sécurisant. A éviter, la profonde avec un plongeur rencontré au hasard des vacances et que l'on ne connaît pas bien. Deux plongeurs constituent le minimum, trois le maximum. Au delà, il est de loin préférable d'organiser deux tours de plongée, les palanquées se succédant sur le fond pendant que l'autre assure la sécurité en surface.

Planification et paramètres

Avant de se mettre à l'eau, on définira avec précision les paramètres de la plongée: profondeur maxi, temps de séjour au fond, temps de remontée jusqu'au premier palier, durée et profondeur des paliers. On précisera également à chacun la façon dont la plongée se déroulera, les checks list , les runtimes et les procédures en cas d'incident ou d'accident, ainsi que la logistique spécifique ou adaptée a cette plongée profonde (parachutes adéquats, air, gilet, détendeurs, instruments..). La planification doit inclure les dispositions et procédures de sécurité sous l'eau et sur le bateau avec le directeur de plongée et la sécu surface.

Comportement en plongée

Selon le cas, la descente s'effectue le long du mouillage ou dans le bleu après un canard. Elle est régulière, tête en bas, en contrôlant que tout le monde suit et en compensant tranquillement. Pas la peine de descendre à toute vitesse pour gagner quelques secondes au fond !

Arrivé à 35-40 m, on se redresse progressivement, on gonfle son gilet pour ralentir sa descente et on marque une petite pause, histoire de vérifier que tout est OK.

A éviter: le redressement brutal. Il est préférable de le faire doucement et de se laisser tomber "en feuille morte" quelques instants avant de poursuivre la descente pieds en bas. Une fois dépassé le seuil psychologique, il est bon de se concentrer sur sa respiration en accentuant l'expiration qui doit être prolongée. Cela permettra de l'adapter en douceur à la profondeur.

Sans tomber dans la paranoïa de la narcose, il est souhaitable de contrôler ses propres réactions et celles des autres. Un comportement anarchique, des gestes ralentis ou excessifs, les pupilles dilatées ou les yeux mi clos, le rythme respiratoire sont des signes qui permettent de juger de l'état de son compagnon. Dès le moindre symptôme de narcose, il ne faut pas hésiter à remonter pour que celle-ci cesse.

Attention, en profondeur l'appréciation du temps est bien différente. C'est pourquoi on vérifie régulièrement sa montre. Toujours en raison du ralentissement des fonctions mentales, on contrôle également son profondimètre pour s'en tenir à la profondeur fixée et son manomètre.

2 La diurèse en plongée : (6 points)

4. **Décrivez les deux mécanismes physiologiques mis en cause qui expliquent cette « furieuse envie » qui suit nos plongées (2 points)**

1^{ère} cause : La poussée d'Archimède s'opposant à la gravité redistribue une partie de la masse sanguine des membres inférieurs vers le thorax et l'abdomen. L'hypervolémie sanguine intrathoracique entraîne alors une surcharge de travail du muscle cardiaque. Afin de diminuer cet effort, l'organisme va devoir effectuer une diminution du volume sanguin, donc évacuer de l'eau par l'urine. C'est la diurèse d'immersion. Cette production d'urine est également augmentée par la diminution de la sécrétion de l'hormone hypophysaire ADH.

2^{ème} cause : Le froid : L'eau est un excellent conducteur thermique. Les pertes caloriques sont maximales dans les parties du corps riches en eau et au contact avec le milieu ambiant, c'est-à-dire principalement la peau. Afin de diminuer ces pertes thermiques, l'eau migre des extrémités vers le centre du corps ou elle est éliminée par les reins. Cette vasoconstriction périphérique entraîne donc une redistribution de la masse sanguine vers le thorax

5. **Listez les conséquences physiologiques de cette forte production d'urine. (2 points)**

La diurèse n'est qu'une réaction de l'organisme contre l'hypervolémie décrite plus haut. Cette hypervolémie provoque une **augmentation de la tension artérielle du plongeur en immersion**. Dans le cas où le plongeur est déjà hypertendu, il y a augmentation des risques inhérents à cette pathologie (rupture d'anévrisme par exemple).

L'élimination d'une grande quantité d'eau par l'urine (de 4 à 6 fois le volume normal par unité de temps) provoque une hémococoncentration. La réaction de diurèse débute quelques minutes après le début de plongée.

La diurèse entraîne également un phénomène de déshydratation et une sensation de soif.

6. **Comment sensibilisez-vous vos stagiaires pédagogiques à cet aspect particulier de la plongée ? (2 points)**

Prévention

Contre la diurèse liée à la poussée d'Archimède : aucune

Contre la diurèse liée au froid : mettre une combinaison de plongée adaptée à la température, limiter le temps de plongée si on a froid.

Traitement :

Après la plongée : réhydratation (boire de l'eau) .

4 L'entraînement au mannequin du Niveau IV (7 points)

Au cours d'un stage niveau 4 de deux semaines en mer, un MF1 vous demande de l'aider à mettre en place une progression spécifique pour le travail de l'apnée de l'épreuve du mannequin niveau 4.

- d. **Quelles sont les spécificités physiologiques de ce type d'apnée ? (2 points)**

L'apnée à réaliser au cours de l'examen du mannequin niveau 4 est une apnée dynamique de 20 s en déplacement sur un fond de 4 à 6 m, suivie de 10 sec en surface puis d'une nouvelle apnée pour récupérer le mannequin.

C'est une apnée qui se réalise après un effort assez fort de nage en surface de durée d'environ 2 mn, faisant intervenir des filières énergétiques de type aérobie et anaérobie lactique, avec accumulation dans le sang de CO₂ sous forme de bicarbonates.

Après ce type d'effort, la récupération nécessaire à l'élimination du CO₂ stocké est de plusieurs minutes avant de retrouver un rythme ventilatoire normal.

A la fin de l'effort, avant récupération, le rythme ventilatoire est rapide et ample, et le CO₂ accumulé limite les capacités d'apnée immédiate. L'apnée du mannequin N4, réalisée juste après l'effort, est donc une apnée forcée qui se réalise avec déjà au départ un niveau de CO₂ élevé et un besoin fort de respirer.

e. Quels sont les risques et les précautions à prendre pour cette épreuve ? (2 points)

Les risques inhérents à ce type d'épreuve sont liés à des efforts trop intenses et à l'accumulation de CO₂ : essoufflement (hypercapnie) , crampes, noyade si mauvaise gestion de la respiration en surface (boire la tasse ..). La volonté de tenir l'apnée malgré le besoin fort de respirer ne doit pas aboutir à des spasmes pulmonaires pouvant aboutir dans des cas extrêmes à une syncope.

L'entraînement doit privilégier la recherche du dosage optimal entre effort lié à la nage et capacité à tenir l'apnée . La sécurité doit primer sur la performance.

La surveillance en surface est obligatoire, voire l'accompagnement par un nageur d'assistance pendant la durée de l'épreuve. Des points d'appui sont obligatoires pour permettre la récupération après l'effort.

Ce type d'épreuve ou d'entraînement ne doit pas se faire dans les heures suivant une plongée ou immédiatement après les repas. La condition physique des stagiaires doit être vérifiée.

f. Proposez vos axes d'entraînement au cours du stage pour cette épreuve. (3 points)

Travail aérobie

La réalisation d'un travail de fond en endurance (travail aérobie) tout au long de l'entraînement préalable (les mois précédant l'épreuve) augmentera les possibilités de stockage et de transport de l'O₂. Au cours du stage final, l'entraînement en endurance (par exemple 2 nages par semaine) doit permettre de maintenir la condition physique préalable, mais ne doit pas avoir pour objectif d'améliorer la performance. En effet , trop augmenter les efforts d'entraînement quelques jours avant l'examen risque de pénaliser les stagiaires (effet de sous compensation lié à un surentraînement avant l'épreuve)

Travail anaérobie

Un des objectifs de l'entraînement préalable peut être aussi est de permettre à l'organisme de mieux résister à l'accumulation de CO₂ dans le sang lié au travail en filière anaérobie .

Pour cela, insister sur un travail à fréquence cardiaque proche de la VMA (entre 80 et 100% de la fréquence cardiaque max) Par exemple, des séries de nage rapide suivie immédiatement d'apnées (mettre l'organisme en situation de "souffrance" anaérobie associée à l'acidose) puis de récupération en nage lente . (travail fractionné)

Equilibre effort/performance/apnée

Au delà de l'amélioration des performances aérobies ou de résistance à l'acidose, l'objectif principal de l'entraînement à ce type d'épreuve au cours du stage final est de permettre aux stagiaires de trouver le dosage optimal entre performance et effort/CO₂ induit par la nage avant l'apnée , et leur capacité à tenir les apnées qui suivent. Concrètement cela revient à leur proposer d'augmenter ou diminuer leur effort (par exemple ne pas utiliser les bras dans la dernière partie de la nage) , pour augmenter ou diminuer l'accumulation de CO₂ dans le sang, et permettre une meilleure tenue de l'apnée tout en réalisant le temps minimal à l'épreuve. Ce dosage peut se faire par différents essais et mesures de performance.

Propulsion/immersion

L'entraînement doit aussi permettre de perfectionner ou remédier aux défauts de propulsion ou de technique d'immersion pouvant pénaliser la performance du stagiaire.

Ventilation

Il doit également permettre aux stagiaires de pouvoir éventuellement mettre en œuvre pendant la dernière phase de la nage ou pendant une récupération active courte statique avant l'apnée (quelques dizaines de secondes) une ventilation avec expiration forcée (quelques cycles respiratoires) permettant d'abaisser temporairement le CO₂

sanguin pour améliorer la tenue de l'apnée de 20sec. Ce mécanisme doit être court et ne peut pas s'assimiler à de l'hyperventilation, le taux de CO₂ initial étant déjà très élevé et pouvant difficilement aboutir à une syncope anoxique.