

Anatomie, Physiologie et physiopathologie du plongeur

Coefficient 4 : Durée 1h30

Sujet 1 - Circulation, ventilation et système nerveux

Question 1 (6 points)

Certains fabricants d'ordinateurs de plongée annoncent que leurs derniers modèles sont innovants parce qu'ils prennent en compte la fréquence cardiaque du plongeur.

- Développez la ou les raison(s) physiologique(s) qui pourraient selon vous expliquer l'intérêt de la prise en compte de ce paramètre physiologique ?

Question 2 (4 points)

La diurèse est un phénomène bien connu des plongeurs. Cependant la diurèse n'est pas à prendre à la légère car la déshydratation est un facteur favorisant et aggravant de l'accident de décompression.

- Détaillez les deux causes principales de diurèse chez le plongeur en vous attardant sur les mécanismes.
- En déduire pourquoi l'hypertension est à surveiller chez le plongeur ?

Sujet 2 - Barotraumatismes

Question 1 (6 points)

Certains plongeurs présentent des acouphènes :

- définissez ces troubles (1pt),
- expliquez-en les mécanismes (3pts),
- énumérez des troubles qui pourraient leur être associés (1pt),
- envisagez des méthodes de préventions possibles (1pt).

Question 2 (4 points)

Dans le cadre de l'enseignement de la plongée, quelles indications donneriez-vous à un initiateur club pour qu'il puisse prévenir les manifestations des différents barotraumatismes chez ses élèves débutants, niveau 1 et niveau 2 ?

Monitorat Fédéral 2ème degré - Martinique octobre 2008

Eléments de correction : Anatomie, Physiologie et physiopathologie du plongeur

Coefficient 4 : Durée 1h30

Sujet 1 - Circulation, ventilation et système nerveux

Question 1 (6 points)

Certains fabricants d'ordinateurs de plongée annoncent que leurs derniers modèles sont innovants parce qu'ils prennent en compte la notion de « fréquence cardiaque du plongeur ».

Développez la ou les raisons physiologique(s) qui pourraient selon vous expliquer la prise en compte de cette notion?

Dans un ordinateur de plongée qui intègre un cardio-fréquence mètre, le rythme cardiaque du plongeur est pris en compte pour le calcul de l'effort et les calculs de décompression spécifique à sa plongée.

1 - Les raisons (Conséquences de l'immersion en plongée sportive) (3 points)

Il s'agit de gérer les contraintes de l'effort sur la physiologie humaine en plongée en intégrant la mesure du rythme cardiaque dans le calcul de la décompression. La volonté est d'obtenir des calculs plus sûrs pour les plongées avec ou sans palier de décompression notamment dans les circonstances les plus exigeantes qui sont générées par la pression, les efforts, le stress et le froid.

Les variations de fréquence cardiaque sont très largement générées par les changements de pression partielle des gaz O_2 et CO_2

Un ralentissement de la fréquence cardiaque aura pour origine une augmentation de la pression partielle de O_2

Une accélération de la fréquence cardiaque aura pour origine une augmentation de la pression partielle de CO_2 dont la production est influencée par les contraintes thermiques, l'activité physique et le stress qu'il y a eu pendant la plongée.

Ce qui nous intéresse plus particulièrement, ce sont les accélérations du rythme cardiaque, signes d'anomalies.

Situation	Effet	Conséquence	Fréquence cardiaque
En plongée	Augmentation pression hydrostatique	PpN ₂ augmente	Accélération
Hypoxie	Hallucination Perte de connaissance	PpO ₂ < 0.17 bar	Accélération
Efforts	Production CO ₂	Augmentation PpCO ₂ (Hypercapnie) Augmentation du rythme respiratoire	Accélération
Stress Euphorie	Production adrénaline Production de CO ₂	Vasodilatation Augmentation tonus musculaire	Accélération
Froid stade 1	Augmentation activité musculaire, tonus et frisson - Production de CO ₂	Augmentation PpCO ₂ (Hypercapnie) Augmentation du rythme respiratoire	Accélération

Le froid génère une augmentation d'activité musculaire (tonus et frisson thermique) qui est à l'origine d'une production accrue de CO₂. La vasoconstriction périphérique accentuant la diurèse, la PpCO₂ s'en trouve augmentée provoquant une accélération du rythme ventilatoire et de la fréquence cardiaque

Lors de l'effort, la formation d'acide lactique provoque une diminution locale du PH du sang du fait de la création de CO₂ en abondance. Cette diminution du PH sanguin va amplifier la ventilation. Le maintien de la valeur du PH (7.4) se fait de deux manières, le couple acide base (CO₂, H₂O/HCO₂) et la ventilation.

Cette acidose est accentuée par le phénomène de vasoconstriction périphérique (diving reflex) et la température basse de l'eau qui accentue la vasoconstriction.

2 – Explications (3 points)

L'utilisation d'un cardio-fréquence mètre permet de mesurer la fréquence cardiaque qui est une donnée facile d'accès, fiable et objective dont les accélérations sont majoritairement dues à la présence de CO₂.

Au repos, le débit cardiaque est de 5 L/min. En fonction de l'accélération du rythme cardiaque, ce débit peut augmenter jusqu'à atteindre 25 à 35 L/min. L'incidence que cela peut avoir sur la quantité d'azote dissous dans notre organisme justifie d'adapter les procédures de décompression aux variations de rythme cardiaque pendant la plongée.

On peut faire le constat que l'augmentation du rythme cardiaque en plongée est intimement associé à la présence de CO₂. Or, l'analyse des bulles intra vasculaires produites par la décompression indique que le CO₂ peut être un facteur important dans l'apparition et la croissance précoce des bulles (A partir des études d'Ishiyama juin 1983).

Question 2 (4 points)

La diurèse est un phénomène bien connu des plongeurs. Cependant la diurèse n'est pas à prendre à la légère car la déshydratation est un facteur favorisant et aggravant de l'accident de décompression.

1°) Détaillez les deux causes principales de diurèse chez le plongeur en vous attardant sur les mécanismes.

2°) En déduire pourquoi l'hypertension est à surveiller chez le plongeur ?

1^{ère} cause : La poussée d'Archimède s'opposant à la gravité redistribue la masse sanguine vers le thorax et l'abdomen. L'hyper volémie sanguine 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.

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.

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

Sujet 2 - Barotraumatismes

Question 1 (6 points)

Certains plongeurs présentent des acouphènes : définissez ces troubles (1pt), expliquez-en les mécanismes (3pts), énumérez des troubles qui pourraient leur être associés (1pt) et envisagez des méthodes de préventions possibles (1pt).

1- Barotraumatisme de l'oreille interne

Les barotraumatismes de l'oreille interne sont 10 fois moins nombreux que les barotraumatismes de l'oreille moyenne mais ils sont plus redoutables par leurs séquelles. Ils ont une symptomatologie surtout cochléaire. Ils peuvent être isolés ou associés à un barotraumatisme d'oreille moyenne et dans ce cas, ils peuvent échapper aux statistiques des accidents de plongée.

2 - Acouphènes : (1 point)

Ce sont des troubles auditifs caractérisés par la sensation de bruits parasites comme des sifflements, des bourdonnements, des tintements sans qu'ils soient dus à des stimulus extérieurs.

2-1 Mécanismes : (3 points)

Ils sont le plus souvent rencontrés :

- à la descente,
- dans le cadre de plongées "ascenseurs",
- en plongée apnée plus qu'en plongée scaphandre

- **Mécanisme par « coup de piston » :** Il est lié à une trompe d'Eustache bouchée responsable d'une dépression dans la caisse tympanique. Le tympan se déforme brutalement transmettant son mouvement au marteau, à l'enclume puis à l'étrier créant un mouvement de piston de la fenêtre ovale. Les liquides péri lymphatiques incompressibles transmettent ce mouvement brutal à la fenêtre ronde qui se déchire. En fonction de la brutalité de ce mouvement le labyrinthe peut se rompre (cophose définitive). Le coup de piston de l'étrier dans la fenêtre ovale est à l'origine de l'entorse stapédo-vestibulaire

- **Mécanisme implusif :** l'origine est une obstruction tubaire. La pression subie par le tympan est transmise par les osselets sur la fenêtre ovale. Le liquide péri lymphatique appuie sur la membrane tympanique secondaire, créant une déformation convexe vers la caisse du tympan. Lors d'un Valsalva brutal, le recul brutal du tympan vers l'oreille externe entraîne la chaîne des osselets créant un mouvement de succion de l'étrier dans la fenêtre ovale. La fenêtre ronde subit alors une déformation concave vers la caisse du tympan jusqu'à sa rupture.

- **Mécanisme explosif :** l'origine est l'existence d'une communication entre la périlymphe et le liquide céphalo-rachidien, l'aqueduc cochléaire. La pression du liquide céphalo-rachidien est directement transmise à la périlymphe. La différence de pression entre le liquide péri lymphatique et la caisse du tympan serait responsable de la rupture du ligament annulaire de la platine expulsé dans la caisse et/ou de la membrane de la fenêtre ronde qui subit la même déformation. On peut également observer une rupture du labyrinthe membraneux.

2-2 Troubles associés (1 point si au moins 4 propositions sinon rien)

A - En cas de traumatismes mixtes (oreille moyenne et oreille interne):

- otalgie (douleur lancinante) et hypoacousie (perte auditive) : tympan stades 1 ou 2 de Haines et Harris.
- otalgie (douleur lancinante), hypoacousie (perte auditive) et acouphènes: tympan stades 3 4 ou 5 et atteinte cochléaire d'oreille interne
- otalgie, hypoacousie, acouphènes et vertige: tympan stades 3 4 ou 5, atteinte cochléaire et souffrance vestibulaire.
- nystagmus (mouvements d'oscillation et rotation de l'œil)
- nausées, vomissements.
- hyperacousie dans 40% des cas d'acouphènes

B - En cas de traumatismes de l'oreille interne :

- hypoacousie ou acouphènes : atteinte cochléaire (labyrinthe antérieur),
- vertiges paroxystiques épisodiques, une hypoacousie fluctuante : possibilité d'une fistule péri lymphatique au niveau de la fenêtre ronde ou ovale.
- nystagmus (mouvements d'oscillation et rotation de l'œil)
- nausées, vomissements.
- hyperacousie dans 40% des cas d'acouphènes

2-2 Méthodes de préventions (1 point si au moins 4 propositions sinon rien)

- Eviter toute accélération en vitesse de remontée
 - Préférer les méthodes d'équilibrage dites passives, déglutition, béance tubaire volontaire, lorsque vos organes le permettent, c'est plus naturel donc moins traumatisant pour les tympans.
 - S'astreindre à une visite annuelle en début de saison chez son O.R.L, si possible spécialiste de la plongée ou plongeur lui même. Un médecin, O.R.L de surcroît, qui ne connaît pas la plongée, risque de faire un diagnostic approximatif !
 - S'interdire de plonger lorsqu'on est enrhumé, interrompre les plongées si ça ne passe pas. Se moucher, dégager le conduit nasal (rinçage de nez), avant la plongée.
 - Compenser plusieurs fois s'il le faut dans les premiers mètres sans attendre le signal de la douleur
 - Ne jamais forcer lorsque ça ne passe pas à la descente, remonter pour tenter de rééquilibrer.
- Ne jamais compenser à la remontée même lorsque la douleur se fait insistante, vous aggraveriez le problème. C'est probablement des sécrétions qui encombrant les sinus ou des muqueuses enflammées par les plongées successives, voire la chaleur du soleil sur le nez !

Question 2 (4 points à l'appréciation du jury en fonction de l'approche de chaque candidat.)

Dans le cadre de l'enseignement de la plongée, quelles indications donneriez-vous à un initiateur pour qu'il puisse prévenir les manifestations des différents barotraumatismes chez ses élèves débutants, niveau 1 et niveau 2 ?

Les recommandations concerneront essentiellement la surpression pulmonaire, le plaquage de masque, les oreilles et les sinus. En effet, pour les dents, les symptômes peuvent être confondus avec ceux des sinus et pour l'estomac et les intestins, les risques sont rarissimes en plongée (portive. 5tableau non exhaustif)

Cadre général

Débutants	Niveau1	Niveau2
<ul style="list-style-type: none">• Rappel des préventions (SP, oreilles, masque, sinus)• Réglages des sangles des masques pour faciliter l'expiration naturelle par le nez• Présenter plusieurs méthodes d'équilibrage des oreilles. Privilégier des méthodes d'équilibrage douces (déglutition, BTV, expiration rapide par le nez)• Mettre en place une communication efficace• Se moucher avant de partir, nettoyage des sinus• Lestage adapté à une flottabilité neutre à une profondeur de 3 mètres• Mise à l'eau par saut droit, gilets gonflés (piscine et bateau) voire s'équiper dans l'eau en absence de gilet.• Immersions lentes avec appuis et tête en haut (profondeur progressive, utilisation d'un bout)• Imposer des arrêts fréquents lors de la descente : contrôler l'écrasement des jupes des masques, faire souffler par le nez, faire équilibrer les oreilles.• Pendant l'exploration, éviter les variations brutales et fréquentes de profondeur (gradient de pression important en espace proche)• Remontée le long d'un bout (régularité et sans yoyo).• Empêcher les manoeuvres de Valsalva à la remontée	<ul style="list-style-type: none">• Idem que pour les débutants• Bascule arrière en regardant toujours le bateau pour éviter les ruptures de tympans due aux chocs contre la surface de l'eau et les remontées sous le bateau• En cas de descente dans le bleu, s'immerger le premier, interdire toute descente en dessous du guide de planquée, exiger un arrêt à -3m, attendre une ventilation ample et régulière des plongeurs• Descendre en suivant la vitesse du guide de palanquée, le faire lentement et à l'horizontal.• Dans tous les cas, se redresser lentement à l'approche du fond• En cas d'utilisation du gilet pour s'équilibrer pendant la plongée, tenir la purge rapide pendant la remontée pour faciliter le vidage rapide du gilet si besoin	<ul style="list-style-type: none">• Idem niveau 1• En cas d'assistance ne jamais appuyer sur la poitrine de la victime, ne pas essayer d'appuyer sur son ventre. (SP)• En cas d'assistance, ne jamais faire fuser un détendeur dans la bouche de la victime pour l'aider à respirer (SP)• Eviter de faire plus de deux remontées à l'aide du gilet par séance (oreilles et ADD)

• Cadre spécifique

•Placage de masque	•Oreilles ou Sinus	•Surpression pulmonaire
<ul style="list-style-type: none">• S'assurer d'un bon réglage de la sangle du masque• Surveiller l'écrasement de la jupe du masque, surveiller les yeux et d'éventuels saignements dans le masque	<ul style="list-style-type: none">• S'assurer d'un bon réglage de la sangle du masque• Descendre lentement• Faire anticiper les manoeuvres d'équilibrage des oreilles 2 fois par mètres• Arrêter la descente, remonter et reprendre l'équilibrage si difficulté• Questionner pour savoir si l'équilibrage s'est bien effectué• Exiger une réponse• Ne jamais insister	<ul style="list-style-type: none">• S'assurer au départ que l'ensemble des plongeurs sait purger un gilet à l'aide de la purge rapide• Surveiller l'autonomie en air pendant la plongée pour éviter les situations de stress• Marquer un temps d'arrêt avant toute remontée• Demander à chaque plongeur de placer sa main sur la purge rapide• Remonter de préférence le long d'un bout• Surveiller la ventilation pendant la remontée• En cas d'assistance ne jamais appuyer sur la poitrine de la victime, ne pas essayer d'appuyer sur son ventre.