

Zeitschrift: Physiotherapeut : Zeitschrift des Schweizerischen
Physiotherapeutenverbandes = Physiothérapeute : bulletin de la
Fédération Suisse des Physiothérapeutes = Fisioterapista : bollettino
della Federazione Svizzera dei Fisioterapisti

Herausgeber: Schweizerischer Physiotherapeuten-Verband

Band: 26 (1990)

Heft: 5

Artikel: Approche de la physiologie de la plongée

Autor: Gaston, Claude

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-930169>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



Approche de la physiologie de la plongée

Claude Gaston, physiothérapeute-chef, Fribourg

Le film «Le grand Bleu», ayant créé des vocations de découverte du milieu aquatique, et beaucoup d'accidents chez les non initiés, je me propose d'exposer quelques notions physiques et physiologiques de la plongée en les espérant utiles pour vos prochaines vacances balnéaires.

Résumé

Quelques rappels de notions physiologiques respiratoires concernant la plongée sous-marine et les risques de ce sport.

a) Bases physiques et physiologiques

Au niveau de la mer, niveau 0, la pression est représentée par le poids de la pression atmosphérique soit:

760 mm Hg
une atmosphère
un kilo/cm²
10,33 m d'eau
1013 mbars

Le fait de passer du niveau 0 à une altitude de 5000 mètres, la pression va diminuer de moitié.

En plongée, la pression augmente de 1 kg/cm² tous les 10 mètres ou 100 mbars/m.

A - 10 mètres de profondeur, la pression sera donc égale à:

$P = 1 \text{ kg/cm}^2 \text{ (atmosphère)} + 1 \text{ kg/cm}^2 \text{ (eau)} = 2 \text{ kg/cm}^2 = 2 \text{ atmosphères}$

A - 30 mètres, $P = 4 \text{ atmosphères}$

A - 70 mètres, $P = 8 \text{ atmosphères}$

Aussi, pour lutter contre ces effets, les appareils de plongée se proposent d'assurer une respiration en équipression par rapport au milieu ambiant pour équilibrer la pression hydrostatique au niveau des poumons.

L'hyperbarie: toute pression est dite hyperbare si elle est supérieure à 1 bar.

Or, en plongée dans un lac à 3800 m d'altitude ($P = 620 \text{ mbars}$), l'hyperbarie se fera seulement à 4 mètres de profondeur.

$P \text{ à } 4 \text{ mètres} = p \text{ atmosphérique} + P \text{ de l'eau} = 620 \text{ mbars} + 400 \text{ mbars}$

De ce fait, la pression hyperbare pour un être vivant est toute pression supérieure à la pression atmosphérique locale dans laquelle il vit en équilibre.

Loi de Mariotte: les variations de volume d'un gaz sont inversement proportionnelles à celles de la pression qu'il subit. Le produit des deux est une constante.

$P_1/P_2 = V_2/V_1 = P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2 = \text{Constante}$

Loi de Henri: La quantité de gaz dissoute dans un liquide est proportionnelle à la pression exercée par ce gaz à la surface du liquide et à un certain coefficient de solubilité (α) qui dépend:

- de la nature du gaz
 - de la nature du liquide
 - de la capacité de diffusion du gaz
- $$VG = \alpha \times PG$$

Loi de Dalton: la pression partielle d'un gaz au sein d'un mélange gazeux est égale au produit de la pression totale du mélange par la concentration fractionnelle du gaz. C'est la pression que développerait le gaz s'il occupait à lui seul le volume de l'enceinte.

$P_p = P_b \times f_i$

Par exemple: La pression partielle d'oxygène dans l'air respiré: $PO_2 = P_b \times 0,21$ (l'air ambiant contenant approximativement 21% d'oxygène) = 1000 mbars = 1000 mbars $\times 0,21 = 210 \text{ mbars}$.

La pression d'azote = $P_n = P_b \times 0,79$ (l'air ambiant contenant approximativement 79% d'azote) 1000 $\times 0,79 = 790 \text{ mbars}$.

Loi de Haldane: La quantité de gaz dissout dans un liquide augmente selon une courbe exponentielle qui tend vers la saturation (phénomène réversible). La quantité dissoute est fonction de la vitesse de dissolution, elle-même fonction d'une certaine constante de temps qui représente le temps nécessaire pour que la quantité de gaz dissout soit égale à la moitié de la quantité sur-nageant.

Le phénomène inverse se produit à la remontée, c'est la désaturation. Ces quatre principales lois régissent la vie sous pression.

b) Les accidents de la plongée en apnée

La plongée en apnée est la plongée effectuée avec les poumons remplis d'air pris en surface, c'est-à-dire à la pression atmosphérique ambiante. Les variations de volume des gaz seront totalement différentes de celles que l'on observe en plongée avec un scaphandre autonome (bouteilles).

Evolution des volumes gazeux en profondeur

Si l'on prend un sujet normal dont la capacité pulmonaire totale est de 6 litres et dont le volume résiduel est de 1,5 litres, nous allons avoir les chiffres suivants: en considérant comme nous l'avons déjà vu par la loi de Mariotte, que le produit pression/volume est une constante, nous aurons: en surface:

$P = 1 \text{ kg/cm}^2, V = 6 \text{ litres}$.

à - 10 mètres: $P = 2 \text{ kg/cm}^2, V = 3 \text{ litres}$

à - 20 mètres: $P = 3 \text{ kg/cm}^2, V = 2 \text{ litres}$

à - 30 mètres: $P = 4 \text{ kg/cm}^2, V = 1,5 \text{ litres}$

$PV = 6 \text{ litres, constante}$.

On s'aperçoit ainsi qu'à 30 mètres de profondeur, donc pour une pression de 4 kg/cm², le volume pulmonaire total est égal au volume résiduel. Donc au-dessous de 30 mètres, le volume pulmonaire sera inférieur au volume résiduel, c'est-à-dire que nous aurons une pression intra-alvéolaire négative et un effet de succion dans le sang vers les alvéoles qui sera responsable d'un véritable oedème aigu du poumon par dépression intra-thoracique et intra-alvéolaire.

On peut ainsi calculer la profondeur théorique maximale d'un plongeur en apnée, connaissant son volume résiduel qui varie avec:

- l'élasticité pulmonaire
- l'entraînement
- l'âge du sujet

Ainsi, le rapport: capacité vitale/capacité pulmonaire totale varie de 0,80 à 30 ans, à 0,60 à 50 ans.

Cependant, certains phénomènes vont permettre de dépasser la profondeur théorique maximale que l'on vient de calculer et le record actuel absolu de plongée sous-marine en apnée dépassant les 100 mètres en est un exemple frappant (107 mètres en 2'40'' d'apnée le 4. 10. 89).

En effet, pour un adulte de capacité totale de 6 litres, le volume pulmonaire à - 100 mètres est de 0,54, c'est-à-dire le volume d'environ le tiers du volume résiduel habituel. Les conditions pour y parvenir sans risquer d'OAP (oedème aigu du poumon) sont:

- le remplissage complet des alvéoles au départ,
- la position tête basse à la descente,
- la dépression intra-thoracique

Ainsi le remplissage sanguin du réseau capillaire pulmonaire acquiert une rigidité comparable à une érection, ce qui accroît considérablement sa tolérance à la compression; c'est ce que le Prof. Guillerm appelait le «poumon en érection». La quantité de sang ainsi emmagasinée à - 60 mètres au niveau pulmonaire est voisine de 1 litre, ce qui donne un volume résiduel final de 1,5 litre - 1 litre = 0,5 litre.

Variation des pressions artérielles

Normalement la rupture de l'apnée se fait lorsqu'on met en jeu l'un des stimuli suivants:

- Baisse de la PaO₂ au-dessous de 30 mm Hg
- Augmentation de la PaCO₂ au-dessus de 60 mm Hg
- Diminution du volume pulmonaire qui met en jeu le réflexe de Hering Breuer (augmentation du volume pulmonaire inhibe le centre respiratoire et inversement).

Pendant la descente, l'irrigation cérébrale est maximale. La pression partielle d'oxygène tant sanguine qu'alvéolaire

augmente et la dépression intra-thoracique favorise le cheminement du sang.

A la remontée, on admet que l'oxygène est consommé par les cellules et que le gaz carbonique en est rejeté. On arrive à la conséquence.

- baisse de la pression partielle d'oxygène qui va passer de 335 mm Hg, à - 30 mètres à 25 mm Hg en surface.

La PaCO₂ est très basse surtout s'il y a eu hyperventilation au départ.

Il y a un rendez-vous syncopal vers 7-8 mètres: inversion des échanges gazeux. (L'oxygène est plus important au niveau sanguin qu'au niveau alvéolaire et va quitter le sang pour rejoindre les alvéoles, diminuant ainsi la tolérance au stimulus d'oxygène. De plus, le visage vers le haut, le cerveau va perdre son irrigation préférentielle, le plongeur étirant de plus en plus son sinus carotidien et l'excitant ainsi par la voie exocavitaire. La pression intra-pulmonaire redevient positive et favorise ainsi l'hypoxie cérébrale. Les réflexes respiratoires redeviennent fonctionnels. Donc, en fonction de la pression et de la position, la physiologie de surface réapparaît et il existe une véritable syncope anoxique hypocapnique.)

La qualité de l'apnée varie avec la technique individuelle et l'entraînement de chacun. La volonté fait tenir l'apnée ainsi que l'émotion ou la surprise qui sont capables, soit de la prolonger, soit de la faire céder brutalement. Ceci explique que certains sujets pourront lâcher leur apnée avec une saturation d'encore 94%, alors que d'autres la tiendront jusqu'à une désaturation de l'ordre de 75%.

Pour modifier, la durée de cette apnée, certains ont recours à une hyperventilation.

Les statistiques donnent quelques chiffres moyens de tenue d'apnée en surface:

- après une expiration forcée = 10 sec.,
- après une respiration normale = 30 sec.,
- après une inspiration forcée = 50 à 60 sec.,
- après une hyperventilation pulmonaire de 30 sec = 90 à 120 sec.,
- après une hyperventilation de 1 mn et plus, = de 2 mn à l'éternité.

Ainsi, une hypercapnée de démarrage importante avec une hyperventilation devient vite «un passeport pour l'éternité».

L'automatisme respiratoire est assuré normalement par l'intermédiaire de centres nerveux. Ceux-ci sont sensibles:

- au pH du sang circulant
- à la pression partielle d'oxygène
- à la pression partielle de gaz carbonique.

A partir d'un certain seuil, la pression partielle de gaz carbonique stimule les centres respiratoires en provoquant une inspiration. Une baisse de cette pression partielle va donc retarder le déclenchement du stimulus ventilatoire.

Une hyperventilation modifie donc l'automatisme au profit d'une ventilation volontaire et contrôlée, ne tenant aucun compte des besoins réels de l'organisme. La pratique d'une telle hyperventilation provoque dans le sang une augmentation très minime du taux d'oxygène tout en faisant baisser d'une façon importante sa teneur en gaz carbonique.

Si l'hyperventilation est importante et prolongée, elle peut provoquer un dérèglement complet des centres respiratoires par non stimulation, provoquant à lui seul une majoration du temps d'apnée, et une alcalose sanguine responsable des malaises: - fourmillements, - maux de tête, - nausées, - vertiges, etc.

Ensuite, avec l'augmentation des pressions partielles provoquées par l'augmentation des pressions ambiantes, le confort respiratoire sera maximum au fond pour un sujet qui se sera hyperventilé. Par contre, à la remontée, les taux



sanguins diminuent et on pourra voir survenir une syncope par défaillance nerveuse due à la privation brutale d'oxygène, alors que le gaz carbonique trop diminué par l'hyperventilation, n'aura à aucun moment atteint le seuil suffisant pour prévenir le plongeur qu'il doit respirer.

Il y a alors risque de noyade au cours de la remontée ou même en surface. Il existe un test d'hyperventilation de surface, fait de deux ventilations profondes toutes les 5 secondes, de répéter

le temps au bout duquel les premiers malaises (crampes, vertiges, fourmillements) surviennent et de diviser par trois ce délai d'apparition.

Adresse de l'auteur:

Claude Gaston
Physiothérapeute-chef
Service de Rhumatologie
Médecine physique et Rééducation
Hôpital Cantonal
1700 Fribourg (Suisse)

geknüpft. Aus naheliegenden Gründen wurde eine künftige Zusammenarbeit mit einem der berühmtesten böhmischen Kurorte, *Marienbad*, in die Wege geleitet. Diese Kontaktnahme fand kürzlich einen ersten Höhepunkt anlässlich eines Kongresses mit der neuen tschechoslowakischen Regierung in Prag. Organisiert wurde dieser Kongress von der Universität für Economie und diente allein dem Zwecke, künftige Geschäftsbeziehungen einzuleiten, den Gedanken der freien Marktwirtschaft umzusetzen, gemeinsame Unternehmen, sogenannte Joint-ventures anzubahnen, und vor allem die sehr angespannte finanzielle Lage der Nation zu ordnen. Wir haben diesem Kongress beigewohnt und können heute zusammenfassend erklären, dass vor uns eine grosse Zukunft liegt.

Info

Marienbad (Tschechoslowakei)

Ein schweizerisch-tschechisches «Joint-venture» besonderer Prägung!

Dieser Beitrag ist unseren tschechoslowakischen Freunden in der Schweiz gewidmet

Von René Brandenberger, Physiotherapeut, 8753 Mollis

Einleitung

Wir erinnern uns an 1968! Rund 100 000 Tschechoslowaken emigrierten in der Folge der Unterdrückung des «Prager Frühlings» in den Westen. Der grösste Teil hiervon waren Akademiker und Fachleute, und eine stattliche Anzahl von ihnen fand in der Schweiz ein neues Zuhause. So auch unsere Gymnastiklehrerin, Frau Maria Kucerova. Kolleginnen und Kollegen, die zu dieser Zeit die Schule für Physiotherapie am Kantonsspital Zürich absolvierten, erinnern sich mit grösster Genug-

tung an die wertvolle Zeit, die wir mit Frau Kucerova erlebten. In der Folge beschäftigte sich Frau Maria Kucerova intensiv mit der Veröffentlichung von Fachbüchern zum Thema der Krankengymnastik, und man darf füglich behaupten, dass diese Arbeiten mittlerweile zu eigentlichen Standardwerken der Physiotherapie wurden.

Die Entwicklung

Bereits Ende 1988, also noch vor der politischen Öffnung des Ostens, wurden Kontakte zur Tschechoslowakei

Marienbad

Marienbad ist einer der fünf bekannten böhmischen Bäderkurorte, unweit der deutschen Grenze gelegen. Eine Bestandesaufnahme aller Kurorte (Karlsbad, Teplitz, Franzensbad, Joachimstal und Marienbad) hat ergeben, dass zur Zeit nur Marienbad den ursprünglichen Charakter bewahrt hat. Die ganze Architektur des Ortes blieb weitgehend erhalten. So fühlt man sich in die Zeit der Jahrhundertwende zurückversetzt und Marienbad versprüht daher einen ganz besonderen Zauber der Nostalgie und Tradition.

Berühmtheit erlangte Marienbad wegen der wertvollen Zusammensetzung der Heilquellen. Rund 40 Quellen aus der nächsten Umgebung wurden gefasst und dienen im breitesten Sinne den balneotherapeutischen Anwendungen. Bei der zusätzlichen Trinkkur verordnet der Arzt dem Patienten Zeit und Menge einer bestimmten Mineralquelle. Das sehr bekömmliche Wasser mit dem typischen, aber nicht aufdringlichen «metallischen» Geschmack ist zudem mit CO₂ in natürlichem Vorkommen angereichert. Diesem natürlichen CO₂ in den Heilquellen wird denn auch die besondere Wirksamkeit zugeordnet. Marienbad ist hauptsächlich ein Kurort für Nierenkranke. Die Indika-